SOMMAIRE

SOMMAIRE.....1

INTRODUCTION GENERALE.....3

PREMIERE PARTIE.

LE DEFAUT D'INTERNALISATION DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE 21

CHAPITRE 1.

LA DOMINANCE D'UNE LOGIQUE *EX POST* : UN REGIME DE RESPONSABILITE CIVILE FAVORABLE A L'INDUSTRIE NUCLEAIRE..... 24

1. Introduction 24
2. D'une logique *ex post* à la persistance des inefficacités..... 26
3. L'assurabilité du risque nucléaire : l'assurabilité à la frontière de l'Etat et du marché..... 68
4. Conclusion..... 102

CHAPITRE 2

LIMITE DE RESPONSABILITE CIVILE NUCLEAIRE ET SUBVENTION IMPLICITE : LE CAS DE LA FRANCE 104

1. Introduction 104
2. La limite de RC nucléaire : une subvention implicite..... 105
3. Les conséquences économiques de la subvention implicite de RCN 148
4. Conclusion..... 175

DEUXIEME PARTIE.

L'ORGANISATION DE LA COUVERTURE DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE 179

CHAPITRE 3.

UNE ANALYSE ECONOMIQUE DU MARCHE DE L'ASSURANCE NUCLEAIRE..... 183

1. Introduction 183
2. Marché de l'assurance et risque nucléaire : une association contre nature ?..... 184
3. Le financement des Protocoles de 2004 : vers une nouvelle combinaison assurancielle en France ? ... 221
4. Conclusion..... 239

CHAPITRE 4.

UN *RISK-SHARING* EUROPEEN : UNE ALTERNATIVE A LA COUVERTURE DU RISQUE NUCLEAIRE 242

1. Introduction 242
2. Une alternative à l'assurance nucléaire : sur la voie du *Risk-sharing* 243
3. Un partage horizontal du risque entre exploitants nucléaires européens 278
4. Conclusion 316

CONCLUSION GENERALE 320

BIBLIOGRAPHIE 325

LISTE DES ACRONYMES ET ABBREVIATIONS 342

ANNEXES 344

INTRODUCTION GENERALE

Quelques temps après la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, Vaclav Havel disait *"la science peut mener à la découverte de l'énergie atomique mais elle ne peut pas nous préserver d'une catastrophe nucléaire"* (Méditations d'Eté, 1992). Cette phrase résume l'ambivalence de l'énergie nucléaire. Avancée scientifique majeure, elle est à la croisée de deux mondes : celui du génie et celui du fléau. Le risque nucléaire est communément associé à l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl, survenue le 26 avril 1986, et soulève, à sa seule évocation, de vives inquiétudes. De plus, l'amalgame est fréquent entre la production d'énergie nucléaire civile et les bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki. Il cristallise ainsi les craintes autour de cette source d'énergie. Si la manipulation des atomes n'est aujourd'hui plus une activité nouvelle, elle déchaîne pourtant les passions et les peurs. De la rationalisation à la diabolisation, le risque nucléaire est l'objet de multiples débats.

Des vulnérabilités nouvelles

Avec la multiplication des activités humaines et les progrès techniques et scientifiques sans cesse croissants, le XXIème siècle s'est ouvert sur une nouvelle ère dans les domaines du risque et de sa gestion. Bien que les catastrophes aient toujours existé, le monde fait face, depuis quelques années, à des risques nouveaux et singuliers de par leur ampleur, leur gravité, leur fréquence et leur imprévisibilité. Sur les vingt catastrophes des trente-cinq dernières années, dix-huit ont eu lieu depuis 1990 et dix d'entre elles rien qu'entre 2001 et 2005 (Michel-Kerjan, 2006). Parmi elles, on peut citer les catastrophes naturelles telles que

l'ouragan Andrew de 1992 (22,3 milliards $ de dommages), les ouragans successifs Katrina (110 milliards $) et Rita (10 milliards $) de 2005, et le séisme de Northridge de 1994 (18,4 milliards $) aux Etats-Unis, et les tempêtes françaises Lothar et Martin de décembre 1999 (15 milliards €). Egalement, les attentats de New York du 11 septembre 2001 (40 milliards $), de Madrid du 11 mars 2004 (7,5 milliards €) ou encore les attentats de Londres du 7 juillet 2005 (1,1 milliards €) ont révélé une dimension nouvelle des attaques terroristes (Godard et alii, 2002 ; Mahul et Wright, 2003). Enfin, parmi les catastrophes industrielles de ces dernières années, de plus en plus fréquentes, on trouve les naufrages des pétroliers l'Erika, au sud de la Bretagne, en 1999 (1 milliard €) et du Prestige en 2002, en Espagne (1 milliard €) et l'explosion de l'usine AZF à Toulouse, en 2001 (2 milliards €). Ces catastrophes sont révélatrices de vulnérabilités nouvelles et d'un changement radical d'échelle dans les risques. La vulnérabilité se définit comme le caractère de ce qui est exposé à un risque, une faille. Parler de vulnérabilité souligne donc l'existence d'une fragilité nouvelle à laquelle les sociétés sont désormais confrontées. Cette fragilité présente une double dimension. D'une part, les nouveaux risques menacent simultanément la vie de millions de personnes et d'autre part, ils font peser sur l'industrie de l'assurance un poids financier qu'elle a de plus en plus de difficultés à supporter. Dès lors, ces risques posent la question des rôles respectifs de l'Etat et du marché dans la garantie d'une protection physique et financière adéquate contre de tels évènements.

Dans l'industrie nucléaire civile, la vulnérabilité est particulièrement palpable. Bien que la sûreté draconienne des installations ait toujours permis de limiter fortement le risque d'accidents et de ne dénombrer, à ce jour, que très peu d'expériences en la matière, l'industrie est soumise à des exigences spécifiques qui ont été largement mises à mal par l'accident de Tchernobyl. Vingt et un ans après la catastrophe, Tchernobyl est aujourd'hui une ville presque fantôme où le souvenir matériel et psychologique de l'accident est partout présent. Elle est, depuis 1986, un (malheureux) terrain d'expérimentation du risque nucléaire, puisqu'elle a été le témoin, et la victime, d'une catastrophe inédite. Cet accident reste, et restera encore sans doute longtemps, le symbole du pire de l'énergie nucléaire, et de la crainte désormais ancrée dans l'opinion de revivre une catastrophe de ce type. Face aux dommages majeurs causés par l'accident de Tchernobyl, l'évidence l'emporte que ni les gouvernements, ni l'industrie nucléaire n'étaient préparés à une telle catastrophe. *"La catastrophe n'est crédible que lorsqu'elle se réalise"* (Michel-Kerjan, 2006). Or, au-delà de la catastrophe technologique et environnementale, l'accident de Tchernobyl est avant tout un désastre humain. Il a, en effet,

révélé quatre problèmes majeurs : la dimension sanitaire catastrophique d'un accident nucléaire (16 000 morts directs et indirects et des millions de personnes irradiées), son caractère imprévisible, la difficulté d'évaluer le coût des dommages (estimés aujourd'hui à au moins 40 milliards €) et enfin, l'insuffisance et la lenteur de l'indemnisation des victimes. A ce titre, des milliers de personnes ont été évacuées en urgence immédiatement après l'accident et certaines d'entre elles n'ont toujours pas retrouvé, en 2007, de domicile stable ni n'ont encore été totalement indemnisées.

Au lendemain de la catastrophe, plusieurs pays ont, par ailleurs, fait le choix, face à la crise, de fermer progressivement leurs centrales et d'abandonner l'option nucléaire. Pourtant, malgré cet épisode sombre de son histoire, l'énergie nucléaire est aujourd'hui loin d'être abandonnée.

La place de l'énergie nucléaire dans le monde : atouts et faiblesses

En dépit des craintes et des inquiétudes, l'énergie nucléaire semble avoir trouvé sa place dans le paysage énergétique mondial.

L'industrie nucléaire civile s'est développée dans les années 1950, dans les pays occidentaux, dans un but premier d'indépendance énergétique vis-à-vis du pétrole et du gaz. La première centrale nucléaire fut mise en service le 27 juin 1954 à Obninsk, en ex-Union soviétique, avec une puissance de production d'électricité de 5 Mégawatts (MW). Suivirent la centrale nucléaire de Sellafield, au Royaume-Uni, connectée au réseau électrique en 1956, puis le réacteur nucléaire de Shippingport aux Etats-Unis, en 1957. Cette même année, la France, pionnière dans l'histoire de l'atome depuis la découverte de la radioactivité par Pierre et Marie Curie, démarrait les travaux de construction de son premier réacteur à usage civil (EDF1), à la centrale nucléaire de Chinon. Il fut mis en service en 1963.

Aujourd'hui, 441 réacteurs nucléaires sont exploités dans trente et un pays du monde, soit une capacité installée totale de 370 Gigawatts (GW) produisant environ 17% de

l'électricité mondiale. La figure suivante présente les différentes sources d'énergie[1] dans la production d'électricité mondiale en 2006.

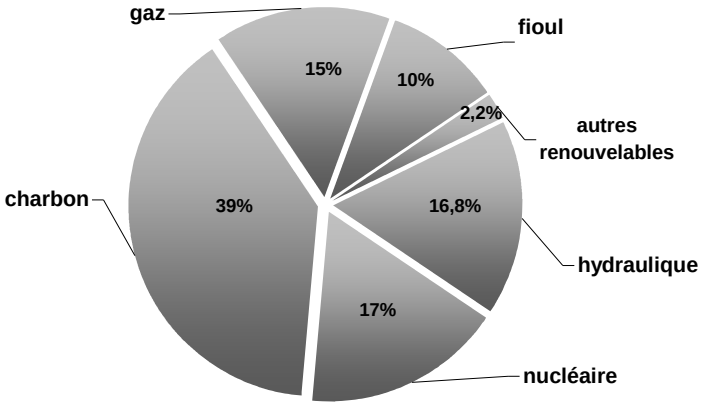


Figure 1. La production d'électricité mondiale par source d'énergie en 2006

Par comparaison, la France produit plus de 80% de son électricité avec l'énergie nucléaire. Elle exploite actuellement cinquante-huit réacteurs sur dix-neuf sites (trente-quatre réacteurs de 900 MW, vingt réacteurs de 1300 MW et quatre réacteurs de 1450 MW), ce qui la place au deuxième rang mondial, après les Etats-Unis qui en exploitent 104. La figure suivante représente la répartition de la production d'électricité française par sources d'énergie en 2006.

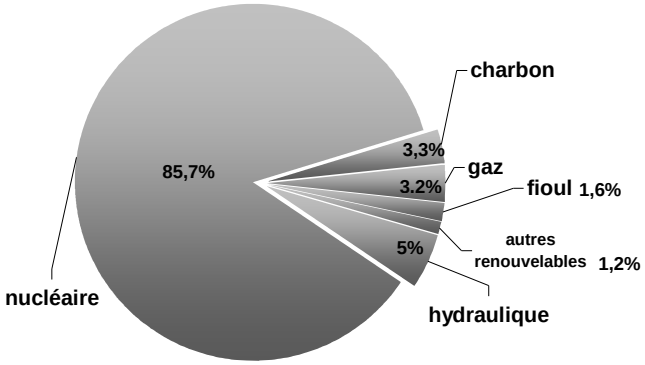


Figure 2. La production d'électricité française par source d'énergie en 2006

[1] On distingue deux types de sources de production électrique : 1) les sources non renouvelables : fossiles (gaz, charbon, fioul) et fissile (nucléaire) et 2) les sources renouvelables : hydraulique (barrages), éolien (vent), géothermique, solaire et biomassique. La géothermie et la biomasse sont les énergies les moins utilisées. La biomasse est la matière organique non fossile d'origine biologique (bois, paille…) qui peut être brûlée pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Pendant des millénaires, c'était la source principale d'énergie des hommes et elle est encore utilisée dans le tiers-monde. Elle peut aussi générer du biogaz (lui-même brûlé) ou des biocarburants pour les véhicules. La géothermie ou "chaleur de la terre" permet de créer de l'énergie sous forme de réservoirs de vapeur ou d'eaux chaudes. Elle provient des couches de l'écorce terrestre et consiste à capter la chaleur emmagasinée dans le sol à faible profondeur. Cette ressource est exploitée essentiellement à usage domestique et est utilisée depuis des siècles en Chine.

L'énergie nucléaire représente même, pour de nombreux pays, une des principales opportunités énergétiques de demain. C'est le cas de la France, bien sûr, qui bénéficie d'un savoir de pointe en la matière. Mais c'est aussi le cas de plusieurs pays en développement qui désormais s'y intéressent et y voient un moyen de rattraper leur retard énergétique et de sécuriser leur approvisionnement. Certains d'entre eux ont formellement manifesté leur intérêt à cet égard, en signant des accords de coopération dans le domaine avec les Etats-Unis et la France. C'est le cas de l'Algérie, de l'Egypte, de la Libye et, très récemment, du Maroc. D'autres se sont même déjà engagés dans la construction de centrales comme la Chine (dotée de seize réacteurs dont cinq en construction) ou l'Inde (vingt-trois réacteurs dont six en construction). Au total, trente-deux chantiers nucléaires sont actuellement en cours dans le monde. De plus, certains pays qui avaient décidé de cesser leurs programmes électronucléaires sont en train de reconsidérer leur choix. Alors que la majorité des centrales nucléaires des pays d'Europe occidentale arrivent en fin de vie, la question du lancement de nouveaux programmes s'y pose avec intérêt. A cet égard, José Manuel Barroso, président de la Commission Européenne, a réaffirmé, dans son discours du 10 Janvier 2007, son soutien à ce type d'énergie pour atteindre une "économie sans carbone" (*An Energy Policy for Europe: Energy for a Changing World)*. Cette contrainte nouvelle réhabilite l'énergie nucléaire vis-à-vis des alternatives énergétiques.

En effet, face à la déréglementation des marchés électriques mondiaux, la raréfaction des énergies fossiles, la croissance de la demande d'énergie mondiale et les impératifs environnementaux prescrits par le Protocole de Kyoto (1997), les politiques énergétiques futures doivent répondre aux trois objectifs suivants :

(1) l'accessibilité : garantir une production électrique compétitive et de qualité

(2) la disponibilité : générer une production de grande capacité pour disposer d'une électricité abondante à court et moyen terme. Cet impératif est particulièrement important pour les pays en développement, notamment les pays asiatiques, dont on prévoit que la demande énergétique va presque doubler (+91%) d'ici 2050 (AREVA, 2002).

(3) la soutenabilité : la mise en place de la politique énergétique doit s'accompagner de l'utilisation de technologies sûres et propres en termes de risque, de déchets et d'émissions de gaz à effet de serre.

Ces trois objectifs ont été énoncés par le Conseil Mondial de l'Energie lors du Congrès Mondial de l'Energie, à Buenos Aires, en octobre 2001. Ils participent d'une même mission, la sécurité et l'acceptabilité des politiques énergétiques, et correspondent à un double défi : combattre l'effet de serre en développant des alternatives aux énergies fossiles et pallier la

hausse du prix des énergies. Comment l'énergie nucléaire se positionne-t-elle vis-à-vis de ces critères ?

Du point de vue de l'accessibilité et de la disponibilité, elle présente de sérieux atouts par rapport à ses alternatives. En premier lieu, elle est parmi les sources d'énergie les plus compétitives du marché, en termes de coût de production, avec un coût du kWh actuellement égal à 0,03€[2]. Elle bénéficie, par ailleurs, d'une faible variabilité de ses coûts. Ensuite, sa technologie performante et éprouvée s'appuie sur une expérience de plus d'un demi siècle. Les installations nucléaires permettent de produire de l'énergie en grande quantité et de manière stable. Elle est donc une option intéressante pour sécuriser à long terme l'approvisionnement énergétique. Néanmoins, l'énergie nucléaire rencontre des difficultés à satisfaire pleinement le troisième critère : la soutenabilité. Son bilan est, en effet, ambivalent. D'une part, elle est une des rares sources d'énergie qui n'émet pas de dioxyde de carbone (CO_2), gaz majoritairement responsable de l'effet de serre. Elle ne contribue donc pas à la pollution atmosphérique. Elle trouve alors naturellement sa place dans les discussions internationales, notamment lorsque est abordé le sujet sensible du réchauffement climatique. De plus, sa technologique est soumise, depuis cinquante ans, à une réglementation de sûreté sans cesse renforcée, conforme au principe de précaution. Cependant, en dépit de ces avantages, l'énergie nucléaire présente deux faiblesses majeures : le risque d'accident et la production les déchets radioactifs. A leur égard, elle a souffert à ses débuts (et souffre encore) d'un manque de transparence de la part de ses défenseurs et de fortes réticences de la part de l'opinion publique. Par la suite, l'accident de Tchernobyl est venu accentuer ces tendances, en fournissant un terreau fertile pour les *lobbies* anti-nucléaires. Dès lors, pour faire valoir l'intérêt de nouveaux programmes électronucléaires auprès de l'opinion publique, des investisseurs et des pays, la priorité doit être donnée à la prise en compte de ces deux externalités négatives, de manière à mieux satisfaire les exigences du critère de soutenabilité, imposé par la communauté internationale.

La problématique des déchets radioactifs revêt deux volets. Premièrement, elle vise la réduction de la production de déchets dans le futur. Deuxièmement, elle concerne le problème, étudié à l'assemblée nationale française depuis la loi Bataille[3] de 1991, du retraitement et du stockage des déchets déjà produits. Le premier volet relève principalement de questions technologiques et le second de choix techniques et politiques. Quant à la

[2] Une comparaison des coûts de production du kWh électrique des différentes sources d'énergie est effectuée dans le chapitre 2 de ce travail.

[3] La loi Bataille du 30 décembre 1991 a pour objectif de fixer les grandes orientations relatives aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité ou à vie longue (comme le plutonium), qui constituent, par nature, les plus complexes à gérer.

problématique du risque d'accident, elle soulève des questions techniques, bien entendu, mais aussi de nombreuses questions à la croisée de l'économie et du droit. Ce travail se focalise sur cette source particulière de risque. Par la suite, le terme "risque nucléaire" est donc employé pour désigner spécifiquement l'évènement "accident nucléaire" sur une installation. Dès lors, à quoi correspond exactement ce risque ?

Le risque d'accident nucléaire : un risque multidimensionnel

Qu'entend-on par *risque nucléaire* dans ce cas ? Par définition, il désigne le risque de rejets de rayonnements ionisants (radioactifs). La désignation "nucléaire", du latin *nucleus* (qui signifie "noyau"), vient du fait que sont manipulés, au cours de l'activité productive, des noyaux atomiques d'uranium. Cette manipulation entraîne l'ionisation des atomes et en favorise la radioactivité. L'ionisation est un processus durant lequel l'atome perd ou gagne des électrons, acquérant une charge électrique ou modifiant une charge existante. Quant à la radioactivité, elle est la propriété du noyau de l'atome de se transformer spontanément en noyau d'un autre élément en émettant lors de cette transformation un rayonnement (rayon X ou gamma) ou une particule (alpha ou bêta). On parle d'"irradiation". L'éclatement d'un noyau en provocant un autre, la radioactivité est un processus chimique dynamique qui peut s'étendre sur de très longues périodes de temps. En somme, les rejets consistent en la libération d'énergie sous forme de rayons chargés de particules ou d'ondes.

La radioactivité se trouve à l'état naturel à des doses inoffensives. En revanche, dans le cœur d'un réacteur nucléaire, elle est générée et accélérée à dessein, à partir d'uranium enrichi, afin de produire de la chaleur à l'origine de la production d'électricité nucléaire. Ce mode de production s'appelle la *fission* nucléaire. Une fois la radioactivité déclenchée, les particules et les rayons qui l'accompagnent affectent tous les matériaux qui interviennent dans la production : le réacteur en premier, mais aussi tous les instruments de manipulation des matières radioactives (gants, pompes, containers) et, bien entendu, le combustible nucléaire et les déchets. Le risque de rejets radioactifs concerne donc à la fois les lieux de production, c'est-à-dire les centrales nucléaires, les usines destinées à fournir ou à retraiter le combustible de ces centrales et les installations qui conditionnent et stockent les déchets. La technologie nucléaire étant fortement liée aux implications économiques du risque d'accident, toutes ces

installations sont classées, en France, "Installations Nucléaires de Base" (INB). Les INB[4] sont soumises à une réglementation spécifique établie par le décret n°63-1228 du 11 Décembre 1963, modifié en 1996, et le décret n°73-278 du 13 Mars 1973[5].

De là, deux types d'évènements sont possibles en cas de rejets radioactifs : 1) soit les rejets restent confinés dans l'installation nucléaire. Ce type d'évènement est généralement peu grave et est qualifié d'*incident* ; 2) soit les rejets s'échappent à l'extérieur de l'installation : l'environnement et les populations sont alors également affectés. Ce type d'évènement est beaucoup plus grave et est qualifié d'*accident*. Dans le premier cas, seule l'installation nucléaire est endommagée. Les dégâts matériels se manifestent alors par un endommagement du réacteur nucléaire et/ou des autres bâtiments de l'installation (salle des machines, tour de refroidissement, stockage du combustible, etc). Les dommages humains concernent les travailleurs de l'installation. Dans le second cas, les rejets peuvent se manifester sous forme de simple fuite (imperceptible en dehors des appareils de mesure) ou d'explosion. Les dommages concernent alors, outre la centrale elle-même, les biens et les personnes qui se situent, de par leur résidence ou leur localisation au moment de l'accident, en dehors de la centrale. On parle alors de dommages aux *tiers*.

Eu égard à ces tiers, il faut donc prévenir l'accident en minimisant le risque autant que possible. Il s'agit de la dimension *ex ante*, ou dimension préventive, du risque. La prévention du risque suppose de faire supporter la responsabilité et la charge des coûts du risque à son auteur. Si ces deux éléments sont vérifiés, alors le risque est dit *internalisé*. L'internalisation est une une norme économique, qui implique que tout agent prenne en compte les externalités négatives (tel que le risque nucléaire) qu'il génère. Dans ce travail, nous adoptons la position coasienne, selon laquelle les externalités négatives doivent être internalisées par

[4] D'après le vocabulaire de l'ingénierie nucléaire établi par la Commission générale de terminologie et de néologie du Journal Officiel 220 du 21 Septembre 2005, une INB se définit comme *"une installation nucléaire qui, de par sa nature, ou en raison de la quantité ou de l'activité de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique"* (JO, 2005)

[5] Bien qu'ils ne fassent pas l'objet de ce travail, de la même façon que les INB, les transports de déchets radioactifs peuvent être générateurs d'accidents. La réglementation des transports de matières dangereuses (Arrêté du 15 avril 1945, modifié en 1992) sert de base légale en ce domaine.

l'intermédiaire d'une redéfinition des droits de propriété[6]. Il s'agit alors ici de redéfinir les droits de propriété entre les exploitants et les victimes potentielles. Le principe d'internalisation suppose ainsi que les exploitants assument l'intégrale responsabilité des dommages causés aux tiers. Puisque les victimes sont des tiers, les exploitants engagent donc leur responsabilité *civile*. Dans ce sens, l'internalisation du risque nucléaire par l'exploitant implique qu'il mette tout en œuvre pour réduire le risque *ex ante* par des mesures de précaution appropriées. La manière dont sa responsabilité civile est définie à l'égard des tiers influence son comportement en matière de prévention, en lui fournissant les incitations dans ce sens (Brown, 1973 ; Shavell, 1987 ; Tunc, 1989 ; Bouckaert, 1991 ; Deffains, 2000 ; Facchini, 2002 ; Faure, 2002 ; Natowicz-Laurent, 2002). On parle alors d'*internalisation coasienne*. Il peut être cependant nécessaire que la réglementation de sûreté vienne renforcer ces incitations pour garantir l'efficacité de la prévention (Shavell, 1984a, 1984b ; Kolstad *et alii*, 1990 ; Burrows, 1999 ; Boyer et Porrini, 2002). C'est particulièrement le cas pour les risques catastrophiques.

Toutefois, en dépit de cette prévention, l'accident de Tchernobyl a montré que le risque zéro n'existe pas. Aussi, faut-il également prévoir la manière dont l'accident sera géré après sa survenance, c'est-à-dire la manière dont les exploitants vont réparer les dommages et indemniser les victimes. Il s'agit alors de la dimension *ex post*, ou dimension compensatoire, du risque. Cette seconde dimension implique que soit mis en place un mécanisme de couverture du risque capable de maximiser la réparation et l'indemnisation. Ces impératifs exigent à la fois de ce mécanisme une mobilisation rapide des fonds disponibles et une capacité financière suffisamment élevée pour répondre à l'ampleur potentiellement catastrophique des dommages. Il doit donc pouvoir concilier ces différents attributs tout en sauvegardant sa stabilité financière et doit être suffisamment flexible pour pouvoir parer à des dommages imprévisibles et potentiellement cumulatifs.

Garantir l'indemnisation des victimes suppose en premier lieu de pouvoir appréhender et mesurer les dommages. Or, concernant le risque nucléaire, cette mesure se heurte à deux difficultés.

[6] Nous avons choisi ici de nous appuyer sur la définition coasienne de l'internalisation plutôt que sur la mise en place d'une taxe pigouvienne (Pigou, 1920). A travers ce choix, nous entendons privilégier une solution de marché qui assure la cohérence entre la responsabilité de l'exploitant et la couverture des dommages potentiels plutôt qu'une taxe qui déconnecte le comportement de précaution de l'auteur du risque et le montant à payer pour s'assurer contre des réparations éventuelles. La position coasienne est donc plus appropriée pour internaliser un *risque* (tel que le risque d'accident nucléaire) qui, par définition, n'est pas encore réalisé.

D'une part, les origines de l'accident peuvent être diverses et sont parfois imprévisibles. On distingue deux sources possibles d'accidents. L'accident est d'origine exogène lorsqu'il est causé par un ou plusieurs facteurs extérieurs à l'installation elle-même. Ces facteurs exogènes peuvent être naturels ou humains. Ils sont naturels lorsque l'accident a pour origine, par exemple, un glissement de terrain sous l'installation, un séisme ou une tempête. Ils sont humains lorsque les rejets radioactifs sont la conséquence d'une attaque terroriste ou d'une erreur de la part des agents de maîtrise ou de maintenance de l'installation. Ces facteurs exogènes de risque sont difficilement prévisibles[7]. L'accident peut aussi être d'origine endogène, lorsque les rejets radioactifs proviennent d'une défaillance interne à l'installation. Dans le cas d'une centrale de production, ces défaillances peuvent prendre la forme d'un incident sur l'un des composants du réacteur nucléaire (brèche dans le circuit de génération de vapeur, perte de réfrigérant, rupture de tuyauterie…etc.) entraînant un emballement (la "fusion") de son cœur et/ou d'une fissure dans l'enceinte de confinement qui l'entoure. La barrière de confinement peut également se briser d'elle-même du fait d'une anomalie de construction ou de l'usure. Ces événements peuvent être consécutifs les uns aux autres. Les scénarios en la matière sont multiples.

D'autre part, les dommages d'un accident se manifestent à la fois sur le plan matériel, sanitaire et environnemental et peuvent être irréversibles, de long terme et catastrophiques. En effet, comme l'accident de Tchernobyl l'a montré, la majorité des dommages nucléaires ne sont pas réparables. Sur le plan matériel, les biens mobiliers, immobiliers et fonciers des tiers peuvent être partiellement ou totalement détruits ou contaminés. Les dommages sanitaires, quant à eux, se manifestent par des décès immédiats ou l'apparition des maladies (à caractère cancéreux pour la plupart). Ensuite, les dommages nucléaires sont souvent aussi des dommages latents. Il s'agit de dommages dont les premiers symptômes n'apparaissent chez la victime que plusieurs années après l'exposition aux rayons. De là, on trouve aussi des dommages héréditaires. Les dommages nucléaires peuvent donc affecter plusieurs générations. Ils sont alors difficilement identifiables. C'est le cas de cancers, comme le cancer de la thyroïde, qui peuvent effectivement être la conséquence d'une exposition radioactive mais aussi être imputées à d'autres causes. Les dommages peuvent aussi toucher plusieurs

[7] Pour les prévenir, les exploitants nucléaires ont alors recours à des moyens spécifiques. Contre les causes naturelles de risque, les INB sont conçues de manière à pouvoir supporter des conditions climatiques extrêmes et leur lieu d'implantation géographique est choisi de sorte de minimiser le risque. En France, c'est le Bureau d'Evaluation des Risques Sismiques pour la Sûreté des Installations Nucléaires (BERSSIN) qui est en charge d'effectuer les expertises dans le domaine de l'évaluation de l'aléa sismique pour les INB. Les risques terroristes sont, eux, totalement imprévisibles. Les exploitants ne peuvent pas les prévenir de manière active. Leur seul moyen d'action est de concevoir une installation nucléaire pouvant supporter une attaque militaire telle que l'atteinte par un missile ou l'écrasement d'un avion et de faire preuve de la plus haute vigilance en la matière.

territoires : ce sont alors des dommages *transfrontaliers*. Enfin, le risque nucléaire est un risque de dimension catastrophique, voire cataclysmique. A cet égard, les accidents nucléaires majeurs peuvent être qualifiés de "*Big Ones*", au sens de Cummins *et alii* (2002) ou de "*Super-cat*", au sens de Michel-Kerjan (2006).

Dans la littérature, il existe plusieurs définitions d'une *catastrophe* et d'un *cataclysme*. Ainsi, Cutler et Zeckhauser (1999) définissent une "catastrophe" comme *"a situation of threatened or actual insolvency in the event of an adverse risk, which is bigger than any one insurer can handle but not big enough to upset the entire insurance market"*[8] (p.235). A la différence, un "cataclysme" est défini comme *"an event that strains worldwide insurance and reinsurance industry reserves, which occurs when the size of a loss is large relative to the insurance pool for that category of risk"*[9] (p.234). De façon alternative, Mahul et Wright (2003) donnent les définitions suivantes : *"an event is a catastrophe when the financial capacity of the insurance pool (including all internal and external market-based solutions, e.g.,* ex post *premium adjustments, reinsurance and alternative risk transfer solutions) is sufficient to pay all valid claims in full. A cataclysm occurs if the financial capacity of the pool (when internal and external market-based opportunities to provide additional capacity have been exhausted) is not sufficient to pay all valid claims in full. This means that a cataclysm leads to the insolvency of this pool"*[10] (p.5). Ces deux groupes de définitions traduisent une croissance dans la gravité des évènements entre la catastrophe et le cataclysme. La catastrophe apparaît comme un évènement grave mais surmontable. Le cataclysme semble, en revanche, beaucoup plus menaçant puisqu'il déstabilise les réserves mondiales de l'industrie de l'assurance et de la réassurance. Il met alors directement en péril leur survie sur le marché et delà, rend très incertaine l'indemnisation des victimes de l'accident. Or, comme l'a illustré l'accident de Tchernobyl, les accidents nucléaires majeurs peuvent présenter ces caractéristiques. C'est pourquoi le risque nucléaire peut aussi être qualifié de "cataclysmique",

[8] *"une situation d'insolvabilité réelle ou potentielle due à un risque grave, qui est plus importante que l'insolvabilité que n'importe quel assureur individuel peut supporter, mais pas assez importante pour menacer la totalité du marché de l'assurance".*

[9] *"un événement qui contracte les réserves financières mondiales de l'industrie de l'assurance et de la réassurance, qui survient lorsque l'ampleur des dommages est trop élevée par rapport à la capacité d'assurance pour cette catégorie de risque".*

[10] *"Un évènement est qualifié de catastrophe lorsque la capacité financière de l''assurance (incluant toutes les solutions de marché internes et externes, comme les ajustements de primes* ex post*, la réassurance et les solutions alternatives de transfert de risque) est suffisante pour payer intégralement l'indemnisation. Un cataclysme survient lorsque la capacité financière de l'assurance (alors que les opportunités de marché internes et externes pour fournir une capacité supplémentaire ont été épuisées) ne suffit pas à indemniser les victimes. Cela signifie qu'un cataclysme aboutit à l'insolvabilité du secteur".*

au sens de Mahul et Wright (2003). Dans ce travail, les risques non catastrophiques (ou non cataclysmiques) seront qualifiés de risques "classiques" ou risques "standards".

Faut-il alors parler *du* risque nucléaire ou *des* risques nucléaires ? Lorsqu'on parle *du* risque nucléaire, on sous-entend sa dimension essentielle, à savoir l'existence indiscutable du risque de rejets radioactifs à l'extérieur de toute INB. En revanche, lorsqu'on parle *des* risques nucléaires, il s'agit de désigner les différentes manifestations que le risque "accident" peut présenter à l'extérieur de l'installation. *Les* risques nucléaires désignent les conséquences des rejets radioactifs plutôt que la menace elle-même des rejets. Ils en retiennent donc la dimension visible. De là, les accidents nucléaires peuvent être rapprochés de ce que Michel-Kerjan (2006) appelle les "maux" collectifs (par référence aux "biens" collectifs). En effet, ils présentent *"les attributs essentiels de maux collectifs, au sens de la théorie économique de non-rivalité et non-excluabilité : chacun est potentiellement menacé, et la menace qui plane sur les uns ne diminue pas forcément la menace qui plane sur les autres"* (p.16). De plus, les risques ne sont plus indépendants. Un accident nucléaire peut mobiliser les couvertures dommages commerciale, résidentielle, automobile, responsabilité civile, santé, etc, simultanément. C'est cette même idée que Kunreuther (1978) soulève lorsqu'il parle de "risque collectif" ou "risque social".

Risque aux multiples dimensions et incertitudes, le risque nucléaire est donc un risque spécifique. Ces caractéristiques particulières en complexifient donc la prévention *ex ante* et l'organisation de la couverture *ex post*. Or, ces deux dimensions du risque nucléaire sont essentielles. Elles sont, en effet, les deux faces d'un même problème : la gestion du risque.

La prévention et la couverture du risque : les deux faces d'un même problème

Au regard des caractéristiques du risque nucléaire, la question de la gestion de ce risque a fait naître dans l'opinion publique de vives réactions. Entre catastrophisme jonassien et principe de responsabilité, les débats sont multiples. D'un côté, l'abandon radical de l'option nucléaire est défendu comme la seule manière d'éviter la catastrophe puisque les connaissances scientifiques ne peuvent éliminer toute source d'incertitude relative à la réalisation d'un accident. De l'autre, la démarche consiste à accepter la contrainte de plausibilité ou de probabilité de l'accident et à mettre en place, de la part des Etats, un cadre juridique et économique orienté vers une gestion rigoureuse et éclairée du risque nucléaire.

Cette gestion du risque comprend donc deux dimensions : la prévention *ex ante* et la couverture *ex post*. Dès lors, si le choix est porté sur de nouveaux programmes nucléaires dans le futur, pour éviter un second "Tchernobyl" et les dérives compensatoires qui s'en sont suivies, le défi majeur consiste à concilier ces deux dimensions. Cette conciliation exige simultanément de :

1) Mettre en place un régime de responsabilité civile capable de :
- ▪ désigner le responsable en cas de réalisation de risque
- ▪ définir précisément le contenu et la portée de sa responsabilité
- ▪ fournir les incitations suffisantes à la prévention des accidents

2) Accompagner ce régime de RC d'une couverture efficace du risque qui :
- ▪ maximise les montants disponibles pour indemniser les victimes
- ▪ minimise le coût de la couverture
- ▪ fait supporter la charge de la couverture à l'auteur du risque

Ces deux volets de la gestion du risque s'influencent mutuellement et doivent donc être analysés dans une même dynamique. D'une part, l'étendue de la responsabilité civile de l'exploitant a un impact évident en termes de couverture du risque et d'indemnisation. Les règles de droit civil permettent de réduire les coûts de transaction en facilitant l'établissement de contrats entre les agents. Lorsque les coûts de transaction sont prohibitifs, comme ils le sont souvent dans les cas de dommages aux tiers, aucun contrat ne peut être spontanément établi, et la négociation est impossible. Les règles de responsabilité civile (RC) ont alors précisément pour but de corriger cette absence de contrat ou de négociation, en définissant et établissant des droits de propriété entre l'auteur d'un risque et sa victime. Le *contenu* de la RC permet de définir les conditions dans lesquelles l'auteur peut être tenu pour responsable. Il détermine alors le niveau d'internalisation et de prévention du risque par l'exploitant. La *portée* de la RC précise dans quelle mesure une personne peut être considérée comme une "victime" et quels sont les "dommages" concernés par l'obligation de réparation. Les règles de RC influencent donc la dimension *ex post* du risque. D'autre part, l'organisation de l'indemnisation des victimes conditionne les devoirs *ex ante* de l'exploitant. S'il est tenu de couvrir l'intégralité des dommages, il va alors être incité davantage à prévenir le risque *ex ante*.

Une gestion efficace du risque suppose donc de la part de son auteur de prévenir le risque *ex ante* et d'indemniser les victimes *ex post*. De cette double exigence lui est alors imposée une double charge : celle des coûts des mesures de précaution et celle des coûts de couverture du risque. Dans le cas de l'industrie nucléaire, la gestion du risque d'accident est fondamentale. Etant donnée sa dimension catastrophique et incertaine, le risque nucléaire a toujours fait l'objet d'une gestion spécifique par les exploitants et les Etats. En quoi consiste cette gestion ? A quel régime de responsabilité civile les exploitants sont-ils soumis en cas d'accident sur leurs installations ? Quelles dispositions sont prévues pour réparer les dommages ? Enfin, la couverture actuelle du risque nucléaire maximise-t-elle l'indemnisation des victimes ? Le présent travail a pour objectif de répondre à ces questions. La problématique qui les sous-tend peut être résumée comme suit :

La gestion du risque nucléaire est-elle efficace ?

Pour traiter de cette question, ce travail se concentre exclusivement sur les accidents pouvant survenir dans une centrale nucléaire de *production*. Sont donc écartés de l'analyse les accidents pouvant se produire dans une usine de retraitement des combustibles nucléaires ou sur des réacteurs nucléaires de recherche. Egalement, ce travail ne traite que de la production d'énergie nucléaire à vocation civile et ne prend pas en compte les usages qui en sont faits à des fins militaires. Il ne retient pas non plus les autres activités nucléaires civiles à usage industriel (gammagraphies pour le contrôle des soudures par exemple) ou à usage médical (appareils pour la radiothérapie). De plus, parmi les dommages causés sur une centrale de production, seuls les dommages aux tiers, engageant la RC des exploitants nucléaires, seront naturellement pris en compte. Les dommages aux biens et aux travailleurs de la centrale, ainsi que les dommages environnementaux (destruction ou perturbation de l'écosystème) ne relèvent pas de cette RC. Ils dépendent d'autres dispositions spécifiques. Ils ne sont donc pas compris dans le champ de l'analyse.

Ce travail se propose alors d'analyser la gestion du risque d'accident nucléaire dans ses deux dimensions *ex ante* et *ex post*. Ces dimensions sont examinées dans le cadre des pays européens. Le choix de l'Europe se justifie pour trois raisons. Tout d'abord, les pays de l'Union Européenne (UE) comptent parmi les plus anciens pays nucléarisés au monde. Ils sont à l'origine d'un des premiers régimes internationaux de responsabilité civile nucléaire (RCN),

mis en place dans les années 1960. Ensuite, l'UE compte actuellement 145 réacteurs nucléaires en exploitation répartis dans quinze pays, soit 32% de la capacité nucléaire mondiale installée (372GWe). Elle occupe ainsi la première place des pays nucléarisés devant les Etats-Unis. Avec une telle capacité, elle produit de l'électricité à 33% d'origine nucléaire. La figure suivante présente les différentes sources d'énergie dans la production d'électricité de l'UE en 2006.

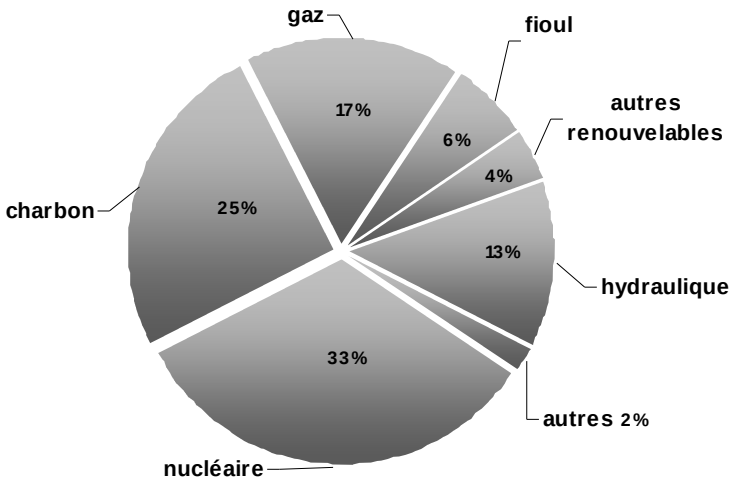


Figure 3. La production d'électricité de l'Union Européenne par source d'énergie en 2006

Enfin, de nouveaux programmes électronucléaires sont à envisager au sein de l'UE, étant donné le soutien explicite de l'Union à leur égard, renouvelé récemment par José Manuel Barroso. La construction de quatre nouveaux réacteurs a, par ailleurs, déjà été entamée dont deux réacteurs de troisième génération avec la construction de l'EPR (*European Pressurized Reactor*), en France et en Finlande.

En conséquence, dans ce travail, la dimension *ex ante* du risque nucléaire est examinée à travers l'analyse du régime de RCN auquel appartiennent actuellement les pays de l'UE. Ce régime permet-il d'internaliser le risque et de prévenir l'es accidents de manière efficace ? Assure-t-il une protection contre un second "Tchernobyl" ? La réponse à ces questions s'appuie sur l'étude du texte des Conventions internationales qui ont établi ce régime et qui sont issues de la collaboration entre l'AEN (Agence pour l'Energie Nucléaire) et l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique). Leur étude permet ainsi d'évaluer la dimension incitative et préventive du régime. Quant à l'analyse de la couverture du risque nucléaire, elle consiste à examiner la solution que le marché de l'assurance propose aux exploitants, depuis les années 1950, pour couvrir leur RC en cas d'accident. Cette solution

assurancielle répond-elle à l'exigence d'efficacité de la dimension *ex post* du risque nucléaire ? L'analyse des fondements de cette solution ainsi que de la structure et de l'organisation du marché de l'assurance nucléaire en Europe permettent de répondre à ce second volet de la gestion du risque. De cette manière, les deux dimensions (*ex ante* et *ex post*) de la gestion du risque nucléaire, ainsi que leurs influences réciproques, sont évaluées.

La littérature a peu exploré cette problématique de la gestion du risque nucléaire. La majorité des travaux portant sur l'énergie nucléaire concerne les problématiques d'investissements ou les problématiques environnementales. Les premières s'intéressent à la dimension irréversible des investissements électronucléaires, soit aux risques techniques et financiers (Bupp et Derian, 1981 ; Cowan, 1990 ; Barré, 2001 ; Gollier *et alii*, 2004 ; Fiore, 2006, 2007). Les secondes traitent des coûts externes environnementaux de la technologie nucléaire (Quéniard, 1992 ; Dreicer *et alii*, 1995 ; Spadaro et Rabl, 1998 ; Eeckhoudt *et alii*, 2000 ; Le Dars et Schneider, 2002 ; Schieber et Schneider, 2002). La gestion du risque nucléaire au sens où elle est entendue dans ce travail est peu analysée. Concernant les rares travaux qui traitent de la responsabilité civile nucléaire, on trouve ceux de Faure et Vanden Bergh (1990), Dubin et Rothwell (1990), Faure (1995), Trebilcock et Winter (1997), Radetzki et Radetzki (1997), Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000a, 2000b), Vanden Borre (1999, 2007). Quant aux travaux, encore plus rares, qui traitent la question de l'assurance du risque nucléaire, on compte ceux de Dow (1985), Faure et Skogh (1992), Reitsma (1992), Tyran et Zweifel (1993) et Faure et Vanden Borre (2007).

Ce défaut de littérature n'est, sans aucun doute, pas dû au manque d'intérêt qu'éveille ce sujet. Il est davantage imputable à deux autres raisons, tenant de sa complexité : une littérature croisée et un problème de méthode. D'une part, en effet, la question de la gestion du risque nucléaire se situe à la croisée de quatre littératures :

(1) L'analyse économique du droit qui permet d'évaluer l'efficacité des règles de RC dans leurs dimensions incitative et compensatoire. Les travaux fondateurs en la matière sont dus à Calabresi (1961, 1970, 1975), Posner (1973), Landes et Posner (1981) et Shavell (1980, 1984a, 1984b, 1986, 1987a, 1987b). Les principes des Conventions de RCN seront examinés à leur lumière, en plus des travaux existants sur le sujet, déjà cités.

(2) Les théories du risque qui permettent d'identifier les risques et fournissent les outils nécessaires à leur mesure. Pour répondre aux questions posées par le présent travail, l'analyse s'appuiera alors sur les travaux précurseurs de Knight (1921), Keynes (1921, 1936, 1937) sur les concepts de risque et d'incertitude et sur les travaux plus spécifiques sur les risques

catastrophiques de Kunreuther (1992), Froot (2001), Godard *et alii* (2002), Michel-Kerjan (2006), Lagadec (2006).

(3) Les théories de l'assurance qui évaluent la capacité des instruments assuranciels alternatifs à couvrir les risques et analysent l'efficacité des différents marchés de l'assurance (Borch, 1990 ; Henriet et Rochet, 1991 ; Ewald et Lorenzi, 1998). Parmi ces travaux, très nombreux, la littérature sur l'assurance des risques catastrophiques sera utilisée, avec notamment les travaux de Kunreuther (1978, 1992, 1996, 1997), D'Arcy et France (1992), Kunreuther *et alii* (1993), Epstein (1996), Froot (1997), Cutler et Zeckhauser (1999), Cummins *et alii* (2002), Godard *et alii* (2002), Mahul et Wright (2003), Faure et Hartlief (2003) et Michel-Kerjan et Marcellis-Warin (2006). Cette littérature permettra de juger de l'efficacité de la couverture actuelle du risque nucléaire.

(4) La littérature sur le marché électronucléaire qui propose une lecture technique et organisationnelle de l'industrie nucléaire, nécessaire à la compréhension de toutes les dimensions du sujet et donc à la pertinence de l'analyse. De cette littérature seront retenus les travaux de Mandil (1996) et les rapports Charpin *et alii* (2000), DGEMP (2003) et plus généralement les rapports annuels d'AREVA, d'EDF, de l'AEN et de l'OCDE. Dès lors, elle effleurera aussi la littérature sur les organisations et les marchés (Williamson, 1971, 1985, 2005 ; Ménard, 2004 ; Furse, 2006) et la littérature sur la concurrence (Glais, 1983, 1993 ; Levie et Cousy, 1994 ; Richer, 2007).

Ensuite, le traitement de cette question se heurte à des problèmes méthodologiques. Ces problèmes concernent, en premier lieu, le risque nucléaire lui-même : les incertitudes qui l'entourent et la faible expérience en matière d'accidents nucléaires (en particulier majeurs) rendent difficiles la mesure du risque et l'évaluation des dommages. Dès lors, les données scientifiques et techniques sont peu nombreuses et leur fiabilité soumise à débats. Leur utilisation doit donc être prudente. En second lieu, les problèmes méthodologiques concernent l'accès aux informations du marché de l'assurance du risque nucléaire. Entre opacité du marché de l'assurance et de l'industrie nucléaire et secret commercial, les données disponibles sont également très rares. Ces obstacles méthodologiques ont toutefois été surmontés et le travail a pu se construire sur les données existantes. Concernant la mesure du risque, il s'agit, pour l'essentiel, des données issues des Etudes Probabilistes de Sûreté (NRC, 1990 ; IRSN/EDF, 1990 ; AEN/OCDE, 1994). Concernant l'assurance nucléaire, l'analyse s'appuie sur les rapports des gouvernements et des autorités nucléaires en la matière (Charpin *et alii*, 2000 ; Carrez, 2003 ; De Loustal, 2003 ; Bonduelle et Lefevre, 2003). Afin de concilier

réalisme et rigueur scientifique, ce travail a dû exiger maintes fois la confirmation des données auprès des autorités et industriels concernés.

Enfin, la question de la gestion du risque nucléaire présente d'autant plus d'intérêt que le régime de RCN a fait l'objet, en 2004, d'amendements législatifs substantiels, qui entreront très prochainement en vigueur. Ces amendements représentent les plus importantes modifications apportées au régime depuis 1960, et sont issus des débats post-Tchernobyl. Or, les implications de tels amendements en termes d'internalisation et de coûts de couverture du risque nucléaire n'ont fait l'objet, à ce jour, d'aucune analyse dans la littérature. Ce travail se propose d'y remédier.

Structure du travail

La gestion du risque nucléaire est-elle efficace ?

Pour traiter cette problématique, ce travail est organisé en deux parties.

La première partie est consacrée à l'analyse de la dimension *ex ante* du problème, à travers du régime de RCN mis en place par l'AEN et l'OCDE. Ce régime est doté de principes de responsabilité spécifiques qui dérogent au droit commun. L'objectif est d'examiner ce régime au regard de son efficacité. L'efficacité du régime est définie dans sa dimension préventive, c'est-à-dire, comme sa capacité à respecter la règle de l'internalisation coasienne. Il est alors montré que le régime actuel de RCN protège l'industrie et de ce fait, présente des défaillances à la fois à fournir les incitations nécessaires à la prévention des accidents nucléaires et à maximiser l'indemnisation des victimes. Les coûts du risque ne sont que partiellement internalisés. La dimension *ex ante* de la gestion du risque nucléaire est donc inefficace.

La seconde partie a pour but d'analyser la dimension *ex post* du problème de la gestion du risque nucléaire, à travers l'examen de sa couverture actuelle en Europe. Ainsi, il est montré comment le marché de l'assurance s'est organisé pour couvrir un tel risque et dans quelle mesure cette organisation est inefficace. Elle présente, en effet, deux limites. D'une part, la couverture actuelle du risque nucléaire est très coûteuse pour les exploitants. D'autre part, sa capacité financière est loin d'être suffisante pour réparer les dommages et indemniser les victimes d'un accident, en particulier majeur. Une alternative est alors proposée pour pallier cette double insuffisance, inspirée du modèle américain.

PREMIERE PARTIE

LE DEFAUT D'INTERNALISATION DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE

Le développement de l'énergie nucléaire civile a fait surgir, il y a cinquante ans, la nécessité de mettre en place un régime de responsabilité répondant aux exigences spécifiques du risque lié à cette technologie : risque catastrophique et risque empreint d'incertitudes. La prise de conscience du danger que ce type de production pouvait causer aux populations a donc amené les pays nucléarisés à chercher en priorité une réponse à la question de la prévention des accidents. Dans cette perspective, l'objectif consistait à instaurer un régime de responsabilité civile efficace pour les exploitants nucléaires, en cas d'accidents sur leurs installations. Par ce régime, ils étaient tenus de répondre de leur responsabilité vis-à-vis des tiers, à la fois en internalisant et en prévenant le risque généré par leur activité.

Cette préoccupation commune a débouché sur la mise en place de plusieurs régimes de responsabilité civile nucléaire (RCN) dans le monde. Tous ces régimes sont fondés sur les mêmes principes généraux de responsabilité. Parmi eux, l'un des plus importants, tant par l'étendue géographique de son champ d'application que par son ancienneté, est le régime mis en place par l'AEN et l'OCDE dans les années 1960. Ce régime est inscrit dans deux conventions internationales : la Convention de Paris (1960) et la Convention de Bruxelles (1963), qui ne comptent actuellement que des pays européens. Ces conventions se distinguent, par leur contenu, du droit commun et sont fondées sur des principes de responsabilité bien spécifiques. Ces principes sont spécifiques en particulier parce que la RC des exploitants y est objective, limitée et canalisée. Le régime AEN/OCDE a été plusieurs fois amendé, depuis cinquante ans, pour être modernisé et répondre aux exigences sans cesse croissantes de l'industrie nucléaire et de l'opinion publique. Ainsi, la première partie de ce travail a pour objectif d'examiner l'efficacité de la gestion du risque nucléaire en Europe dans sa dimension *ex ante*, à travers l'analyse de ces conventions. A cet égard, elle montre que ce régime n'est pas efficace car il engendre des distorsions, au premier rang desquelles un défaut d'internalisation des coûts du risque par l'exploitant nucléaire. Ce défaut d'internalisation est à l'origine de défaillances en termes de prévention mais aussi d'indemnisation.

Dès lors, dans quelle mesure le régime de RCN mis en place par l'AEN et l'OCDE est-il inefficace ?

Pour répondre à cette question, le chapitre 1 examine les principes fondamentaux de responsabilité des Conventions AEN/OCDE actuellement en vigueur en Europe. Il montre alors que ces conventions ont, malgré de multiples révisions successives, toujours privilégié

une logique *ex post*, défavorable à l'internalisation des coûts du risque par l'exploitant. Ce défaut d'internalisation est imputable en majeure partie au plafond financier dont fait l'objet la responsabilité civile des exploitants. Ce plafond est défavorable à l'offre d'incitations nécessaires à la prévention du risque, et même défavorable à l'indemnisation. Dès lors, le régime de RCN protège l'industrie nucléaire plus qu'elle ne protège les victimes. L'apport de ce chapitre consiste à démontrer que, pour réduire ses inefficacités, le régime AEN/OCDE de RCN doit s'orienter davantage vers une logique *ex ante*, focalisée sur un objectif d'abord incitatif. Il montre également que l'Etat doit laisser davantage les exploitants prendre en charge eux-mêmes la réparation des dommages qu'ils sont susceptibles de causer.

De là, le chapitre 2 analyse empiriquement l'impact du défaut d'internalisation des coûts du risque sur les coûts de couverture de l'exploitant. C'est tout particulièrement le principe de limitation financière de la RC des exploitants qui retient ici notre attention. Du fait de ce plafond, l'exploitant est protégé d'une part de sa responsabilité et il est donc déchargé, par là même, d'une partie de ses coûts de couverture. Par conséquent, cet allègement de coût, permis par les Conventions, peut être considéré comme une subvention implicite au bénéfice de l'exploitant. Le chapitre 2 se propose d'analyser et de calculer cette subvention implicite de responsabilité pour la France, comme exemple représentatif des pays signataires des Conventions AEN/OCDE. L'analyse des inefficacités et des conséquences économiques de cette subvention implicite permet ainsi de se prononcer en faveur d'une règle de RC illimitée, plus propice à l'internalisation des coûts du risque.

CHAPITRE 1.

LA DOMINANCE D'UNE LOGIQUE *EX POST* : UN REGIME DE RESPONSABILITE CIVILE NUCLEAIRE FAVORABLE A L'INDUSTRIE

1. Introduction

Le régime de RCN mis en place par l'AEN et l'OCDE est très particulier. Par son contenu, il se distingue du droit commun et est fondé sur des principes de droit peu ordinaires. Construit dans les années 1960, il avait trois objectifs initiaux : indemniser le maximum de victimes en cas d'accident nucléaire, rendre le risque nucléaire assurable et protéger l'industrie nucléaire naissante. Pour satisfaire à ces objectifs, le régime s'est donc doté de dispositions spécifiques. Celles-ci sont inscrites dans des conventions multipartites et ont fait l'objet, au moment de leur rédaction, de nombreuses et vives discussions au niveau international. Ce régime de RCN a été bâti par des juristes pour des industriels. Il a donc été orienté, dès l'origine, vers une logique *ex post* et certaines restrictions arbitraires de responsabilité, de manière à satisfaire les intérêts des exploitants nucléaires. La logique *ex post* n'est pas évidente de prime abord. Les Conventions de RCN AEN/OCDE sont complexes et seule une étude attentive des textes permet de la révéler. Cette logique s'est traduite dans les Conventions par la priorité donnée à un objectif compensatoire. En effet, la motivation des rédacteurs du régime consistait à chercher à mettre en place un cadre juridique et institutionnel performant pour gérer au mieux les conséquences d'un accident nucléaire. Le régime avait ainsi pour but précis d'instaurer des règles visant à gérer la crise après la survenance du dommage. En cas d'accident sur une centrale, le régime devait répondre de manière formelle aux deux questions suivantes : qui paiera les réparations des dommages et qui indemnisera les victimes ? Ces questions sont caractéristiques d'une ligne de raisonnement *ex post*. En tant que traités internationaux et spécifiques, les Conventions AEN/OCDE sont complexes. Derrière cette complexité, le défi consiste donc à en chercher les fondements et les justifications.

Ce premier chapitre a pour but d'analyser ces préoccupations, traduites dans les principes des Conventions internationales de RCN. Plus particulièrement, il vise à montrer dans quelle mesure la priorité donnée à une logique *ex post* est source d'inefficacités.

L'efficacité du régime est ici définie comme *sa capacité à respecter l'internalisation coasienne à atteindre ses objectifs annoncés et son adaptabilité dans le temps.* Il est alors démontré que pour pallier ces inefficacités, le régime doit s'orienter davantage vers une logique *ex ante*, focalisée sur un objectif d'abord incitatif. La littérature sur laquelle l'analyse s'appuie est, pour l'essentiel, tirée des travaux issus de l'analyse économique du droit (Calabresi, 1961, 1970, 1975 ; Posner, 1973 ; Landes et Posner, 1981 ; Shavell, 1980, 1984a, 1984b, 1986, 1987a, 1987b) et de l'assurance, en particulier des risques catastrophiques (Kunreuther, 1992 ; Froot, 2001, Cummins *et alii*, 2002 ; Godard *et alii*, 2002, Faure et Hartlief, 2003 ; Michel-Kerjan, 2006 ; Lagadec, 2006). Concernant spécifiquement l'analyse économique des Conventions internationales de RCN, la littérature est récente et peu abondante. Les premiers travaux datent des années 1990 et son dus, pour l'essentiel, à Faure et Vanden Bergh (1990), Faure et Skogh (1992), Faure (1995), Radetzki et Radetzki (1997), Trebilcock et Winter (1997) et Vanden Borre (1999). En outre, l'analyse s'appuie sur les textes des Conventions et les données fournies par l'industrie nucléaire sur le risque. La question examinée dans ce chapitre est essentielle. Elle permet de dépasser la vision juridique *ex post* des textes jusqu'alors dominante et met en lumière la nécessité de repenser le régime pour l'adapter aux contraintes actuelles.

Le présent chapitre est structuré de la manière suivante.

Dans un premier temps, les principes des Conventions internationales de RCN sont analysés à la lumière de leur dimension *ex post* (2). Nous montrons alors qu'en dépit d'un processus itératif de révision des Conventions depuis cinquante ans, et de la volonté d'orienter le régime vers une logique *ex ante*, les inefficacités persistent. D'une part, le régime ne parvient pas à atteindre pleinement ses objectifs (inefficacité statique). D'autre part, le défaut d'internalisation du risque reste très élevé, et avec lui, le défaut d'incitation à la prévention et le défaut d'indemnisation (inadaptabilité dynamique).

Dans un second temps, les rôles respectifs de l'Etat et du marché délimités par le régime de RCN sont examinés (3). Nous montrons qu'au motif de l'inassurabilité du risque nucléaire, l'Etat prend en charge le risque de manière significative, laissant peu de place à sa marchéisation. Dans un but comparatif, les frontières Etat/marché telles qu'elles sont actuellement définies en Europe pour le financement de l'indemnisation sont étudiées, ainsi qu'un autre modèle de coordination, celui des Etats-Unis, qui n'appartiennent pas au régime de RCN AEN/OCDE. Ces différents cas sont alors analysés sous l'angle de leur désirabilité. La désirabilité est définie comme la *capacité à concilier les exigences sociales de protection des victimes contre les risques catastrophiques et l'impératif économique de l'internalisation du*

risque. La désirabilité d'un régime fait référence à sa dimension politique. Elle est soumise à la fois aux contraintes d'efficacité économique et d'acceptabilité sociale.

2. D'une logique *ex post* à la persistance des inefficacités

Construit au début des années 1960 dans une vision juridique *ex post*, le régime international de RCN a avant tout une vocation compensatoire. Loin d'être inutile, cette vocation, présente cependant des défauts. En effet, en se focalisant sur la gestion des conséquences d'un accident, le régime néglige l'importance des incitations nécessaires à l'internalisation des coûts du risque et à la prévention d'un accident. Ces incitations sont pourtant indispensables. Leur importance a été mise en avant par des économistes qui ont une vision davantage *ex ante* des règles de droit. La lecture *ex ante* du régime du international de RCN, construit sur une logique *ex post*, va permettre d'en fournir une interprétation originale. Elle permettra également d'en mettre en relief les limites et les inefficacités. Avec le temps, les rédacteurs des Conventions ont pris conscience des faiblesses du régime, en particulier du fait qu'il ne parvenait pas à remplir les missions qu'il s'était donné de suivre. Même l'objectif compensatoire, pourtant prioritaire, n'était pas pleinement atteint. Le régime a donc fait l'objet de plusieurs révisions depuis cinquante ans. Ces révisions ont toutes eu pour but de le faire tendre vers une plus grande cohérence et une plus grande efficacité. En somme, elles l'ont progressivement orienté vers une logique *ex ante*, traduisant davantage des préoccupations incitatives. Néanmoins, malgré un processus itératif de révisions des textes, les amendements législatifs successifs ne sont pas parvenus à combler leurs lacunes de manière satisfaisante. La domination d'une logique *ex post* persiste. La présente section a pour objectif d'analyser l'évolution des textes du régime international de RCN et d'expliquer cette persistance de leurs inefficacités.

L'analyse empruntera deux étapes. Tout d'abord, nous examinerons les justifications qui ont amené les textes originaux à se fonder sur une logique *ex post* (2.1). Ensuite, nous montrerons que les limites du régime ont rapidement mis en évidence sa nécessaire réorientation vers une logique *ex ante* (2.2).

*2.1. La dominance de l'*ex post

Lors de son élaboration, le régime international de RCN devait répondre à des objectifs bien précis, cités plus haut. Les rédacteurs du régime ont donc choisi des dispositions juridiques spécifiques, restreignant largement la responsabilité des exploitants nucléaires en cas d'accident nucléaire (2.1.1). Cependant, ces dispositions ont rapidement révélé leurs limites à satisfaire les buts recherchés (2.1.2).

2.1.1. Les Conventions de première génération : des principes de RC spécifiques

Dès son origine, le régime de RCN a été guidé par des motivations destinées à satisfaire aux caractéristiques exceptionnelles du risque nucléaire. Face à la spécificité de ce risque, la mise à place d'un régime de RC adapté aux contraintes des exploitants nucléaires a, très tôt, été perçue comme une priorité. En cas d'accident sur leurs installations, il était impératif que les responsables et leurs obligations soient précisément et formellement désignés. De ce fait, dès la fin des années 1950, alors que les premiers réacteurs nucléaires civils viennent d'être commercialisés, les discussions multilatérales entre les premiers pays nucléarisés commencent. De ces discussions, ressort l'importance de créer un cadre juridique rigoureux pour gérer les conséquences d'un possible accident nucléaire. L'essentiel était donc d'être *capable de gérer la crise ex post*. Pour y parvenir, trois objectifs étaient visés : maximiser l'indemnisation des victimes, protéger l'industrie nucléaire naissante et rendre le risque nucléaire assurable. Les deux premiers objectifs visaient à protéger au mieux les victimes des accidents nucléaires en offrant des montants d'indemnisation les plus élevés possibles tout en assurant l'essor de l'industrie qui était, dans les années 1960, jeune et peu développée. Il s'agissait de lui permettre de faire face à ses responsabilités tout en garantissant sa croissance. Quant au troisième objectif, il impliquait pour les pays de prendre les dispositions nécessaires à une couverture du risque nucléaire efficace afin de renforcer davantage encore leur objectif compensatoire.

Au-delà de ces objectifs, les Etats ont également reconnu la nécessité de mettre en place un régime de responsabilité commun afin de garantir une gestion équitable des dommages pouvant impliquer plusieurs territoires simultanément. La collaboration se devait donc d'être internationale pour deux raisons ; premièrement, parce que de nombreux pays nucléarisés, notamment en Europe, sont très proches géographiquement les uns des autres. Etant donnée la gravité potentielle d'un accident nucléaire en termes de puissance radioactive

et d'étendue spatiale, ces pays sont susceptibles de subir des dommages générés par un accident nucléaire survenu dans un pays limitrophe. L'exemple le plus couramment cité de ce type de dommages transfrontaliers est le communément dénommé "nuage" résultant de l'accident nucléaire de la centrale de Tchernobyl en Ukraine le 26 avril 1986. Deuxièmement, la nature internationale de la collaboration était impérative du fait du volume important de transport de déchets et d'autres matières radioactives produites par l'industrie nucléaire qui transitent sur plusieurs territoires. Ce trafic sensible, quotidien et intense, est aussi la source potentielle d'un accident. Ainsi, la possibilité que les dommages nucléaires puissent dépasser les frontières et impliquer plusieurs pays devait être prise en compte.

Toutes ces considérations, d'ordre compensatoire, sécuritaire et communautaire, ont finalement abouti à la mise en place de trois conventions internationales : la Convention de Paris (1960), fondée sur des principes spécifiques et restrictifs de responsabilité (2.1.1.1), la Convention de Bruxelles (1963), orientée vers un élargissement de l'indemnisation (2.1.1.2) et la Convention de Vienne (1963), modelée sur la Convention de Paris (2.1.1.3). Les deux premières Conventions ne comptent actuellement que des pays d'Europe occidentale. La Convention de Vienne a, au contraire, une portée plus internationale.

2.1.1.1. La Convention de Paris : de fortes restrictions à la responsabilité

La première convention rédigée sous l'égide de l'AEN et de l'OCDE a été signée le 29 Juillet 1960. Il s'agit de la Convention de Paris dite de la RC dans le domaine de l'énergie nucléaire. Cette première convention, signée initialement par dix-huit pays européens (majoritairement occidentaux), n'a été ratifiée que par quinze d'entre eux[11]. Elle est entrée en vigueur en le 1er avril 1968. Si elle ne compte pour l'instant que des membres européens, la Convention de Paris ne leur est pour autant pas réservée. Il n'est donc pas à exclure que, dans le futur, des pays non-européens y adhérent.

Entrée en vigueur en 1968, cette première convention est pionnière en matière de RCN. Elle fixe les principes fondamentaux du régime de RC des exploitants nucléaires de ses Etats membres et définit les dispositions générales communes à tous. Dérogeant au droit commun, ces dispositions sont propres à concilier les intérêts des victimes, des exploitants

[11] Les Etats parties à la Convention de Paris sont présentés dans le Tableau 1, p.44.

nucléaires et des tiers. Quelles sont ces dispositions et de quelle manière rendent-elles compte des motivations *ex post* du régime ?

Le texte complet de la Convention de Paris est présenté dans l'Annexe 1. Ses dispositions peuvent se diviser en deux catégories : les définitions et les principes de RC.

Les définitions

Dès le premier article, on y trouve les définitions très détaillées de ce que les rédacteurs entendent par "accident nucléaire", "installation nucléaire", "combustibles nucléaires", "produits ou déchets radioactifs", "substances nucléaires", "exploitant" et "dommage nucléaire". Comme dans toute législation, les définitions de l'objet et des acteurs concernés par le texte sont évidemment indispensables. Pour comprendre la portée des Conventions, nous reprendrons ici les définitions les plus importantes pour notre propos[12], soient celles d'un "accident nucléaire" (article 1 a)i)), d'une "installation nucléaire" (article 1 a)ii)), d'un "exploitant" (article 1 a)vi)) et enfin, d'un "dommage nucléaire" (article 3):

- *"Un* accident nucléaire *signifie tout fait ou succession de faits de même origine ayant causé des dommages, dès lors que ce fait ou ces faits ou certains des dommages causés proviennent ou résultent soit des propriétés radioactives, ou à la fois des propriétés radioactives et des propriétés toxiques, explosives ou autres propriétés dangereuses des combustibles nucléaires ou produits ou déchets radioactifs, soit de rayonnements ionisants émis par une autre source quelconque de rayonnements se trouvant dans une installation nucléaire".* Cette définition est cruciale car elle permet de distinguer les événements qualifiés d'"incidents" et d'"accidents" et, de là, de délimiter le champ d'intervention de la Convention de Paris. Les "accidents" sont considérés comme des événements qui ont des conséquences à l'extérieur de l'installation nucléaire et donc sur des tiers. Ils impliquent donc l'intervention de la Convention. En revanche, les "incidents", moins graves, sont des événements pour lesquels les émissions radioactives restent confinées à l'intérieur de l'installation nucléaire. Aussi, seuls les travailleurs de l'installation sont susceptibles d'être touchés et non les tiers[13].

[12] Les définitions des "combustibles nucléaires", "produits ou déchets radioactifs" et "substances nucléaires" importent peu pour l'analyse puisque seuls les accidents nucléaires pouvant survenir sur un réacteur lors des opérations de production sont étudiés ici. L'analyse ne concerne donc pas ni le transport de matières nucléaires (combustibles, déchets, substances), ni le retraitement ou le stockage de ces mêmes matières. Toutefois, ces définitions sont disponibles dans le texte de la Convention de Paris (Annexe 1).

[13] Nous reviendrons sur la distinction entre "accidents" et "incidents" quand nous présenterons l'échelle INES plus loin dans ce chapitre (section 3).

▪ "Installation nucléaire *signifie les réacteurs à l'exception de ceux qui font partie d'un moyen de transport ; les usines de préparation ou de fabrication de substances nucléaires ; les usines de séparation des isotopes de combustibles nucléaires ; les usines de traitement de combustibles nucléaires irradiés ; les installations de stockage de substances nucléaires à l'exclusion du stockage de ces substances en cours de transport, ainsi que toute autre installation dans laquelle des combustibles nucléaires ou des produits ou des déchets radioactifs sont détenus"*. Comme la définition d'un accident, la définition d'une "installation nucléaire" permet de délimiter le champ d'intervention de la Convention de Paris. Nous rappelons que notre analyse ne retiendra plus précisément que la première partie de la définition étant donné que nous portons notre attention sur les accidents pouvant survenir sur les réacteurs nucléaires de *production*. Le terme "'installation" sera donc utilisé dans le sens de "centrale nucléaire".

▪ "Exploitant *d'une installation nucléaire signifie la personne désignée ou reconnue par l'autorité publique compétente comme l'exploitant de cette installation nucléaire"*. Dans l'industrie nucléaire, les exploitants sont nombreux et divers. Il peut s'agir des exploitants de centrales nucléaires de production (comme EDF en France), des exploitants de centres de recherche nucléaire (comme le Commissariat à l'Energie Atomique) ou encore des exploitants d'installations de retraitement et de stockage (comme AREVA NC, anciennement Cogema). On les désigne aussi comme des *opérateurs*. Savoir qui est considéré comme l'exploitant de l'installation en cas d'accident est très important puisque c'est de sa responsabilité dont il s'agit. Conformément à notre champ d'analyse, nous rappelons que nous ne nous intéressons ici qu'aux exploitants de production.

▪ Enfin, concernant la définition d'un "dommage nucléaire", l'exploitant d'une installation nucléaire est responsable conformément à la Convention de Paris de *"i) tout dommage aux personnes ; ii) et de tout dommage aux biens, à l'exclusion : 1. de l'installation nucléaire elle-même (…) 2. des biens qui se trouvent sur ce même site (…)"*. Cette définition est fondamentale car elle permet de distinguer ce qui relève du dommage et ce qui n'en relève pas et donc si la Convention de Paris est concernée ou non par l'événement. Les dommages aux personnes incluent les dommages corporels et moraux des tiers en dehors de l'installation nucléaire et les dommages aux biens, les dommages causés à leurs biens matériels (biens immobiliers, etc.). Ces dispositions excluent donc les dommages à l'installation elle-même et les dommages aux travailleurs de celle-ci. Ces dommages font l'objet de dispositions et

d'assurances spécifiques[14] qui n'entrent pas dans le champ d'application de la Convention de Paris.

Au moment de la gestion d'un accident nucléaire, ces définitions permettent donc de délimiter les conditions dans lesquelles l'accident s'est produit et d'identifier le responsable. Ces conditions sont essentielles car elles ont un impact direct sur l'indemnisation des victimes et la réparation des dommages de l'accident. Des définitions inexistantes ou imprécises feraient obstacle à la rapidité des procédures en réparation des victimes ou pire, engendreraient le risque qu'elles ne soient pas indemnisées. Dans une logique *ex post*, la précision et la pertinence de ces définitions sont donc capitales.

Les principes de RC

Dans la Convention de Paris, la RC de l'exploitant nucléaire est spécifique et diverge du droit commun. Elle est : objective, canalisée et limitée.

(1) ***RC objective de l'exploitant*** (article 3). L'objectivité de la RC de l'exploitant, que l'on nomme aussi responsabilité *stricte*, *absolue* ou encore *sans faute*, signifie que tout dommage résultant d'un accident de pollution provenant d'un usage nucléaire doit faire l'objet d'une réparation. En d'autres termes, l'exploitant nucléaire sera toujours tenu pour responsable si un accident survient sur son installation même en l'absence de faute ou de négligence de sa part. Pour être indemnisées, les victimes n'ont alors qu'à démontrer le lien de causalité entre cet usage et l'accident, sans qu'il leur soit demandé qu'elles apportent la preuve qu'une faute ou une négligence a été commise. La responsabilité objective ne suppose donc pas une faute au chef de l'auteur du dommage et ce dernier peut par conséquent être condamné à réparer par le seul fait qu'il a causé un préjudice. Si l'accident en question cause des dommages sur le territoire d'une autre partie contractante aux Conventions, l'exploitant responsable de l'accident devra aussi réparer ces dommages. L'exploitant est également tenu pour responsable des dommages résultant d'accidents nucléaires survenus en cours de transport hors de son installation. Selon l'article 4 a) de la Convention de Paris, c'est l'exploitant de l'installation en provenance de laquelle les matières ou substances sont transportées qui est tenu pour responsable. Ces dispositions concernent le transport par terre dans sa globalité et les transports par mer et air sont soumis à des clauses de restriction (article 7 f)). En matière

[14] Les dommages à l'installation et les dommages aux travailleurs sont respectivement couverts par une assurance-dommages classique et une assurance professionnelle. Ces deux assurances sont prises en charge par l'exploitant nucléaire lui-même.

d'accidents nucléaires, les exonérations de RC sont rares. Selon l'article 9 de la Convention de Paris de 1960, les exonérations ne concernent que les accidents nucléaires résultant *"directement d'actes de conflit armé, d'hostilités, de guerre civile, d'insurrection ou (…) de cataclysmes naturels de caractère exceptionnel"*. Ces cas d'exonérations sont limitatifs et s'interprètent de façon stricte. Il est à noter que ce que le texte entend par "actes de conflit armé", "hostilités", et "guerre civile", n'inclut pas les actes de terrorisme. Dans le cadre général du droit, les actes terroristes sont considérés comme des cas de force majeure pour les personnes touchées et n'engagent alors pas leur responsabilité. Ces personnes sont en effet considérées comme des victimes. En revanche, dans le cadre de la Convention de Paris, si un acte terroriste était à l'origine d'un accident nucléaire sur une installation, l'exploitant de cette installation serait tenu pour responsable des dommages causés. Quant aux droits de recours possibles de l'exploitant, ils sont aussi peu nombreux. Il est uniquement prévu dans l'article 6 f) de la Convention de Paris que l'exploitant a un droit de recours pour les cas où il peut être prouvé que *"le dommage résulte d'un acte ou d'une omission procédant de l'intention de causer un dommage, contre la personne physique auteur de l'acte ou de l'omission intentionnelle"*. Cette disposition pourrait être en principe utilisé par l'exploitant contre les auteurs d'un attentat terroriste contre son installation nucléaire puisque les attentats sont par définition des actes intentionnels. Néanmoins, l'article 6 f) ne s'applique pas pour ce type de recours étant donné que "l'auteur physique de l'acte" ne peut la plupart du temps être identifié avec exactitude.

En quoi ce principe de RC objective révèle-t-il une logique *ex post* ? L'objectif compensatoire affiché par les rédacteurs est explicitement exposé dans le préambule de la Convention de Paris. On le trouve rédigé comme suit : *"Les parties contractantes sont désireuses (...) d'assurer une réparation adéquate et équitable aux personnes victimes de dommages causés par des accidents nucléaires…"*. Dans quelle mesure cet objectif justifie-t-il le choix d'une RC objective? En quoi cette règle déroge-t-elle au droit commun? La règle de RC communément adoptée dans le droit commun est celle de la responsabilité dite *subjective* ou *pour faute*. Elle suppose, en vertu des articles 1382 et 1383 du Code Civil français que *"tout fait quelconque de l'homme, qui cause à autrui un dommage, oblige celui par la faute duquel il est arrivé, à le réparer"* et que *"chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait, mais encore par sa négligence ou par son imprudence"*. Contrairement à la règle de RC objective, cette règle n'engage la responsabilité de l'auteur du risque que dans le cas où il a commis une faute ou une négligence. La majorité des activités

sont soumises à cette règle de responsabilité[15]. Les règles de RC subjective et objective n'ont pas les mêmes effets en termes de redistribution et d'efficacité. L'analyse de leurs avantages respectifs a fait l'objet de nombreux travaux dont ceux de Brown (1973), Calabresi (1975), Landes et Posner (1981) et Shavell (1980, 1985, 1987). La dimension redistributive d'une règle de RC se définit en fonction de sa capacité à protéger et indemniser les victimes. On parle d'argument en termes de justice. Son efficacité se juge en fonction de sa capacité à fournir les incitations à l'internalisation du risque et à la prévention des accidents. En matière de RCN, dans quelle mesure la règle de RC objective permet-elle de tendre davantage vers l'objectif compensatoire que la règle de RC subjective?

La règle de RC objective est une tendance vers laquelle la législation moderne s'oriente de plus en plus (Skogh, 1998). On la trouve notamment dans les principes régissant la responsabilité du producteur pour les dommages causés par des produits défectueux, la responsabilité concernant la pollution des eaux souterraines ou encore la pollution des véhicules à moteur. Elle révèle un élargissement de la notion de faute, initié par le débat à l'origine du principe de précaution (Delpoux, 1998). De ce fait, la RC objective est de plus en plus utilisée pour les risques catastrophiques. Bien que, selon Tunc[16] (1989), *"historiquement (…) l'indemnisation de la victime n'a probablement pas été la première fonction de la RC"*, les juristes défendent souvent le choix de la responsabilité objective car elle suit une logique redistributive. En faisant peser le poids de l'indemnisation sur l'auteur du dommage, la RC objective est en effet redistributive selon trois axes.

Premièrement, elle consiste à faire payer celui qui crée le risque selon le principe pigouvien du "pollueur-payeur" (Pigou, 1920). En matière de RCN, cette règle contraint l'exploitant à internaliser le risque généré par son activité. Elle permet ainsi d'éviter les redistributions négatives en défaveur des victimes. L'objectivité de la responsabilité admet explicitement que c'est au producteur d'assumer ses risques. En faisant peser sur lui le poids de la réparation pour tout accident, ce principe protége donc les victimes. De ce fait, l'exploitant, auteur du risque, est incité à prendre le maximum de précaution car il ne peut pas échapper à sa condamnation si un accident se produit sur son installation, à l'exception des quelques rares exonérations (précitées) prévues dans le texte. En conséquence de cette règle, il va chercher à minimiser les coûts de l'accident (Calabresi, 1970 ; Shavell, 1987). Au-delà de

[15] Par exemple, sont soumises à cette règle : la responsabilité médicale, la responsabilité professionnelle des architectes ou encore la responsabilité de service des administrations (entretiens des routes, surveillance des piscines municipales, etc).

[16] André Tunc (1917-1999) est un éminent juriste français qui occupa entres autres les fonctions de conseiller juridique à la Commission économique pour l'Europe de Genève, de membre étranger de la British Academy et vice-président du Centre français de droit comparé.

ses avantages redistributifs, la règle de RC objective a donc aussi des avantages en termes d'efficacité et de prévention du risque. La justification de cette règle de responsabilité se trouve également renforcée par le fait que les accidents nucléaires sont des accidents unilatéraux dans lesquels les victimes ne contribuent pas. Elles n'ont aucune influence sur le risque. Ainsi, il serait inéquitable d'un point de vue redistributif, et inefficace du point de vue de la prévention des risques, que les victimes aient à payer le prix d'un accident dont elles ne seraient en rien responsables. On pourrait objecter le fait que la victime peut éviter les dommages en choisissant un lieu de résidence éloignée des centrales nucléaires et des itinéraires de transports de déchets radioactifs. Néanmoins, cette objection présente des limites évidentes. En effet, en cas d'accident nucléaire majeur[17], en particulier dans un pays au territoire exigu, cette précaution de la victime n'aurait aucun effet pour sa sécurité. Son seul recours serait alors d'émigrer pour aller s'installer aussi loin que possible des installations nucléaires. On devine les limites matérielles d'une telle solution. On considère ainsi généralement les accidents nucléaires comme des accidents unilatéraux sur lesquels les victimes n'ont aucune influence. Quels seraient les désavantages de l'adoption d'une règle de RC subjective vis-à-vis de cet objectif compensatoire? Dans la mesure où le but recherché en priorité est l'indemnisation des victimes et que la règle de RC subjective ne garantit cette indemnisation que dans le cas où l'auteur a commis une faute, cette règle n'est pas la plus appropriée.

Deuxièmement, dans le cadre de la Convention de Paris, la règle de RC objective se justifie selon un argument informationnel. En effet, l'efficacité d'une règle de RC est aussi fonction de la façon dont est distribuée l'information disponible sur le risque (Natowicz, 1999 ; Natowicz-Laurent, 2002). Selon ce critère, celui qui peut au mieux assumer l'indemnisation est celui qui bénéficie de la meilleure information sur l'activité risquée et sur le risque créé. Dans le cas de l'industrie nucléaire, l'asymétrie d'information se prononce clairement en défaveur de la victime et en faveur de l'exploitant. Etant donnés la complexité et le caractère insidieux du risque nucléaire, c'est en effet l'exploitant, en tant qu'expert industriel, qui est le mieux informé sur son activité et sur son risque. Il est le parfait candidat, en collaboration avec les autorités nucléaires de sûreté, pour évaluer et juger du niveau de précaution requis pour éviter les accidents. Du fait de la précision et de la qualité de l'information dont il dispose, il est le mieux à même d'internaliser le risque. De ce point de vue, le principe de responsabilité objective se justifie. Cet argument est, par ailleurs, de plus en plus défendu

[17] Un accident nucléaire majeur est l'accident le plus grave qui puisse survenir. Les évaluations du coût d'un tel accident sont examinées dans la section suivante.

pour les risques technologiques et environnementaux. La question du niveau de précaution requis est une question largement examinée dans la littérature en analyse économique du droit. Les travaux les plus célèbres en la matière sont ceux de Landes et Posner (1981) et Shavell (1987). Lorsque la règle en vigueur est la RC objective, ce niveau n'a d'incidence que sur la survenance d'un accident. Il est déterminé par l'exploitant, avec les autorités nucléaires se sûreté. En revanche, pour la règle de RC subjective, ce niveau est plus fondamental. Il est fixé par un juge et détermine non seulement la survenance d'un accident mais également l'engagement ou non de la responsabilité de l'auteur. Si l'auteur n'a pas respecté le niveau de précaution requis, et donc commis une faute, il sera condamné par le juge. Dans le cas contraire, il ne subira pas la charge de l'indemnisation. Les coûts en termes d'information sur le niveau de précaution requis ne sont donc pas les mêmes lorsque la RC est objective ou subjective. En effet, l'application de la RC subjective suppose un coût d'information élevé pour le juge qui doit déterminer par avance le niveau de précaution à imposer à l'exploitant. Il risque alors de manquer d'informations pour comparer les coûts et les avantages marginaux de la précaution et de là, pour fixer de manière appropriée le niveau de précaution optimal[18] (Shavell, 1987). En conséquence, il risque de surestimer ou de sous-estimer ce niveau. Avec un régime de responsabilité objective en revanche, tous les coûts incombent à l'auteur du dommage (l'exploitant nucléaire) qui doit définir lui-même le niveau de précaution. Etant donné qu'il est celui qui possède le plus d'information sur le risque, la règle de RC objective se trouve à nouveau justifiée[19]. Le juge n'a alors qu'à déterminer *ex post* le montant des dommages et des indemnisations. Notons que ce constat ne vaut que pour les modèles, comme celui de Shavell (1987), qui partent de l'hypothèse de neutralité face au risque. En effet, comme le souligne Faure (2007b), si on introduit l'aversion au risque[20] du côté de l'auteur potentiel du dommage, la responsabilité objective n'est efficace que si l'auteur peut réduire son risque financier, par exemple par le biais de l'assurance. En effet, si l'auteur averse au risque ne peut transférer son risque, il devrait payer lui-même l'intégralité des dommages, en cas d'accident. Dans le cas d'un accident nucléaire majeur, l'exploitant aurait donc une probabilité élevée d'être ruiné. Par conséquent, aucun investisseur ne serait incité à produire

[18] La détermination du niveau optimal de précaution suit la règle du juge *Learned Hand* qui fait référence dans la littérature (Brown, 1973 ; Cooter et Ulen, 2004). Elle consiste à comparer le coût espéré du dommage avec le coût des mesures de précaution nécessaires pour éviter ce dommage. Lorsque ces deux éléments s'égalisent, le niveau de précaution est dit "optimal".

[19] Par ailleurs, nous verrons plus loin que pour minimiser les coûts d'un accident, les exploitants et les autorités nucléaires de sûreté définissent un niveau de précaution très strict, beaucoup plus élevé que dans d'autres industries dangereuses.

[20] Pour une définition de l'aversion au risque, se reporter à la section 3.1. de ce chapitre.

de l'énergie nucléaire face à tel risque financier. La survie du secteur nucléaire serait alors remise en cause.

Le troisième argument, lié au précédent, en faveur de la protection des victimes potentielles et de la RC objective est celui de la charge de la preuve. En effet, comme mentionné plus haut, cette règle de responsabilité exige seulement de la part victime d'un accident nucléaire qu'elle prouve le lien de causalité entre les dommages qu'elle a subi et l'activité nucléaire de l'installation visée. Elle n'a pas à prouver qu'une faute ou une négligence a été commise par l'exploitant de cette installation. Etant donné que la victime subit une forte asymétrie informationnelle sur le risque, cette disposition lui évite de devoir supporter les coûts élevés de la preuve (Jones, 1997). En effet, à cause de l'importance de la quantité d'information à collecter pour prouver la faute ou la négligence, ces coûts peuvent s'avérer prohibitifs pour la victime. Cette dernière risque alors d'être dissuadée de poursuivre l'exploitant nucléaire en justice et ne sera pas indemnisée. En pratique, toutefois, une telle solution allège surtout la charge de la preuve pour les dommages immédiats et apparents. En cas de séquelles corporelles à plus long terme et de dommages latents, le lien de causalité avec l'accident est en effet de plus en plus difficile à établir (Shavell, 1980; Stählberg, 1994). Qu'en serait-il de cet argument si la RC était subjective? Deux cas de figure se présenteraient alors. D'abord, dans sa forme la plus commune, il a été montré que cette règle supposerait que les victimes prouvent non seulement le lien de causalité entre leur préjudice et l'activité nucléaire mais aussi qu'elles apportent la preuve de la faute ou de la négligence de l'exploitant. Elles subiraient donc des coûts élevés et l'objectif de protection des victimes ne serait pas respecté. Un second cas de figure permettrait, néanmoins, à la règle de RC subjective d'être réhabilitée. En effet, pour soulager les victimes de ces coûts, il est possible que de combiner cette règle avec une clause d'inversion de la charge de la preuve. Dans ce cas, il y aurait, après l'accident, une présomption de faute ou de négligence au chef de l'exploitant auquel il incomberait la charge d'apporter la preuve qu'il n'a été ni fautif ni négligent. Ainsi, la règle de responsabilité subjective serait tout aussi équitable au regard des coûts de la preuve. Plusieurs objections à cette clause peuvent toutefois être émises. Premièrement, la procédure d'inversion de la charge de la preuve peut s'avérer très longue et, par conséquent, l'indemnisation des victimes serait retardée (si la faute est finalement avérée). Ensuite, étant donné que les victimes sont en situation de forte asymétrie informationnelle, elles pourraient ne pas avoir les moyens de vérifier les conclusions de l'exploitant quant à cette procédure. Le problème de la charge de la preuve n'en serait donc que déplacé. Enfin, bien que les autorités nucléaires imposent aujourd'hui des normes de sûreté draconiennes aux

exploitants et en exercent un contrôle très strict, le risque zéro n'existe pas. Dès lors, même si les victimes sont mieux protégées par l'inversion de la charge de la preuve, la possibilité qu'elles ne soient pas indemnisées demeure.

En conclusion, si la règle de RC subjective n'a pas eu les faveurs des rédacteurs de la Convention de Paris, c'est parce qu'elle présente des avantages redistributifs moindres par rapport à la règle de RC objective (Finsinger, 1991). Elle protège moins la victime et va donc à l'encontre de l'objectif premier du régime international de RCN.

(2) ***RC canalisée sur l'exploitant*** (article 6). Le principe de canalisation juridique de la responsabilité est aussi appelé principe de RC "exclusive". Il suppose qu'en cas de dommage, une seule personne sera poursuivie par les victimes. Cette personne est désignée par la loi ou la Convention internationale régissant l'opération. Selon la Convention de Paris, dans l'industrie nucléaire, cette personne est l'exploitant. L'exclusivité de sa responsabilité signifie qu'il est l'unique responsable en cas d'accident indépendamment de sa cause ou de la contribution potentielle de tierces parties dans l'accident. Ainsi, par cette disposition, le risque nucléaire ne se partage pas mais s'assume "en bloc". Notons que l'article 5 d) de la Convention mentionne la possibilité que plusieurs exploitants soient tenus pour responsables en cas d'accident. Leur responsabilité serait alors *solidaire et cumulative*. Cependant, cet article ne donne aucun détail sur les conditions qui permettraient d'identifier une telle situation. On peut voir dans l'article 6 f) un complément de l'article 5 d). Il stipule que le recours d'un exploitant envers un autre n'est possible que si l'autre partie a causé intentionnellement le préjudice ou si le droit de réparation est rendu possible par un arrangement contractuel entre eux.

Pourquoi avoir canalisé la responsabilité? L'objectif *ex post* de protection des victimes des accidents nucléaires s'est aussi manifesté dans le choix de canaliser la responsabilité sur l'exploitant. Ce principe constitue une déviation du principe selon lequel seul le pollueur doit être tenu responsable pour les dommages qu'il a causés par son activité. On le retrouve dans de nombreuses conventions internationales comme, par exemple, celles qui régissent la pollution maritime par les hydrocarbures où la responsabilité est canalisée sur les propriétaires des pétroliers[21]. La canalisation de la responsabilité se justifie essentiellement par le fait qu'elle permet d'éviter aux victimes la multiplication des procédures pouvant impliquer plusieurs acteurs de la chaîne de production nucléaire (constructeur, exploitants, sous-

[21] Ce régime de responsabilité est présenté en détail dans le chapitre 4.

traitants) et dont les conclusions pourraient s'avérer contradictoires et/ou redondantes entre elles. En faisant peser la charge de la réparation exclusivement sur l'exploitant nucléaire, la canalisation permet d'identifier un unique responsable. Elle facilite ainsi le recours en justice des victimes et accélère les procédures et les décisions judiciaires relatives à leur indemnisation (Vanden Borre, 1999, 2007).

(3) ***RC limitée de l'exploitant*** (articles 7 et 8). La RC de l'exploitant est limitée en montant et en durée. La limitation en montant est établie par l'article 7 b) de la Convention de Paris et prend la forme d'un plafond financier au-delà duquel l'exploitant responsable n'est plus tenu de réparer les dommages résultant de l'accident. Le plafond établi par la Convention de Paris s'élevait en 1960 à 15 millions DTS[22] par accident (environ 17 millions €). Ce plafond sert d'indicateur minimal pour les parties contractantes. Celles-ci sont libres, dans leur loi nucléaire nationale, de fixer un plafond de responsabilité supérieur à celui-ci si elles le désirent[23]. La Convention de Paris fixe également, par l'article 7 c), une limite de responsabilité spécifique pour les accidents survenus en cours de transport. Cette limite fut fixée en 1960 à 5 millions DTS. Quant à la limitation temporelle de la responsabilité de l'exploitant, elle se traduit par la mise en place de délais de prescription. En vertu de l'article 8 a) de la Convention, les actions en réparation des victimes doivent en effet être intentées dans un délai de dix ans après l'accident, sous peine de déchéance. Le législateur prévoit dans l'alinéa c) de cet article la possibilité de fixer un délai optionnel de deux ans à compter du moment où la victime a la connaissance du dommage et de l'exploitant responsable. Pourquoi le choix s'est-il porté sur la limitation de la RC de l'exploitant? La RC de l'exploitant a été limitée non pas pour protéger directement les victimes mais pour satisfaire les deux autres objectifs de la Convention de Paris : protéger l'industrie nucléaire et rendre le risque assurable.

En effet, l'objectif de protection de l'industrie nucléaire est inscrit dans le préambule de la Convention de Paris (annexe 1) et fait suite au premier objectif : *"... (assurer une réparation adéquate et équitable aux personnes victimes de dommages causés par des accidents nucléaires)... tout en prenant les mesures nécessaires pour éviter d'entraver le*

[22] Le droit de tirage spécial (DTS) est une unité de compte du Fonds Monétaire International (FMI), calculée sur la base d'un panier des devises des plus grandes nations industrielles (dans l'ordre actuel de valeur relative dans sa composition : dollar US, Euro, Yen, Livre Sterling). La valeur exacte des DTS est publiée par le FMI. Ici le taux de change utilisé est celui publié le 19 juillet 2007, soit 1 DTS = 1,10963 €.

[23] A cet égard, la limite de RC est parfois présentée comme un plancher au lieu d'un plafond. Néanmoins, le terme de "plafond" est plus approprié puisque, une fois la limité fixée par la législation nationale (à un niveau au moins égal à la limite fixée par la Convention de Paris), elle définit bien le montant maximum des dommages que l'exploitant peut se voir réclamer en cas d'accident.

développement de la production et des utilisations de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques". Il s'agissait donc de concilier la maximisation de l'indemnisation des victimes (soutenue par la RC objective et canalisée) et la croissance industrielle. A cet égard, les rédacteurs ont considéré que cette conciliation nécessitait l'établissement d'une limitation (en particulier financière) à la responsabilité de l'exploitant. Cette nécessité était appuyée par deux arguments. D'une part, au regard de l'ampleur des dommages qu'un accident nucléaire pouvait causer, on a considéré que l'industrie nucléaire ne serait pas solvable si la responsabilité de l'exploitant était illimitée. La santé financière de l'exploitant serait fortement menacée par l'obligation de réparer l'intégralité des dommages, surtout si on inclut les dommages latents[24]. Cet argument rejoint celui mentionné plus haut, selon lequel, si l'exploitant est averse au risque, la RC objective n'est efficace que s'il peut réduire son risque en le transférant vers un autre acteur (un assureur par exemple) sous peine d'être ruiné. La limitation de la RC est donc en quelque sorte une contrepartie au principe de RC objective qui condamne l'exploitant pour tout accident sur ses installations. D'autre part, on a considéré que sans plafond de responsabilité, l'industrie ne serait pas attractive pour les nouveaux investisseurs. Cet argument était particulièrement pertinent dans les années 1960 où l'industrie nucléaire civile était naissante, peu compétitive et encore peu connue. A l'image des "price caps", la fixation d'un plafond financier à la RC des explotiants était donc une manière d'inciter les nouveaux entrants à pénétrer sur le marché de l'énergie nucléaire en les protégeant contre une partie du risque. Cette disposition n'est cependant pas spécifique à l'industrie nucléaire et la règle de RC objective est souvent couplée avec une limite financière. On retrouve, en effet, cette combinaison dans de nombreuses conventions internationales ayant trait aux risques catastrophiques, comme celles (précitées) régissant la pollution maritime par les hydrocarbures.

Si la RC de l'exploitant nucléaire est limitée, c'est également pour faciliter l'assurabilité du risque. Dès les années 1950, la couverture du risque nucléaire rencontrait des difficultés. Les assureurs individuels privés ne parvenaient pas à en fournir une couverture suffisante. En effet, le marché de l'assurance offrait une capacité trop limitée pour couvrir le caractère à la fois catastrophique et imprévisible du risque nucléaire. Dans les années 1950, les produits assuranciels étaient peu diversifiés et donc limités à la couverture des risques

[24] Les dommages latents ont été définis dans l'introduction générale comme des dommages, qui malgré leur existence, ne se manifestent que tardivement par rapport à la date de l'accident.

standards[25]. Du fait de ses caractéristiques exceptionnelles, le risque nucléaire était, dès lors, considéré comme inassurable. Ainsi, les assureurs privés ont d'emblée montré très peu d'intérêt à couvrir le risque nucléaire qui pouvait mettre en péril leur santé économique (Radetzki, 1999). Ce retrait des assureurs privés s'est observé sur tous les marchés des Etats parties à la Convention de Paris, sans exception. En conséquence, afin de motiver une certaine capacité financière et un consentement minimal des assureurs à couvrir le risque nucléaire, il était nécessaire de limiter le montant des dommages couverts. Assurer, même de manière restreinte, la responsabilité de l'exploitant garantissait que le risque serait couvert, au moins partiellement (Maréchal, 1991). Par cette manœuvre, le risque nucléaire est donc devenu assurable[26]. Dans le même esprit, la canalisation a également, mais dans une moindre mesure, été choisie pour satisfaire à ce troisième objectif, en complément de cette limitation. A certains égards, la canalisation peut en effet être considérée comme un facteur d'amélioration de l'assurabilité du risque. En effet, puisque seul l'acteur sur lequel s'effectue la canalisation, en l'occurrence l'exploitant, est tenu de s'assurer, certains avancent que les coûts globaux d'assurance de l'industrie en sont réduits (Faure, 1999 ; 2006).

Si l'objectif de la limitation de la RC de l'exploitant n'était pas de protéger les victimes, l'amélioration de l'assurabilité du risque a cependant un impact positif dans ce sens. Quant à la pertinence du plafond vis-à-vis de la maximisation de l'indemnisation des victimes, elle fait d'objet d'une analyse dans le paragraphe 2.2.2.

(4) ***Obligation d'assurance ou de garantie financière à concurrence des montants de responsabilité*** (article 10). Ce principe est fondamental. Par ce principe, l'exploitant est tenu de contracter une police d'assurance ou de fournir une garantie financière de quelque nature que ce soit pour le montant de responsabilité fixé par la législation en vigueur dans le pays dans lequel il exerce son activité. Si l'exploitant fait le choix de couvrir sa RC par un moyen autre que l'assurance, ce moyen doit être approuvé par l'Etat[27]. En quoi cette obligation répond-elle à une logique *ex post* ?

L'obligation instituée par l'article 10 de la Convention de Paris participe également à la protection des victimes des accidents nucléaires. En effet, si le principe de RC objective tient

[25] Le chapitre 3 revient sur la différence entre les risques catastrophiques et les risques "standards", autrement appelés "risques actuariels".
[26] La question de l'inassurabilité du risque nucléaire est examinée plus loin dans ce chapitre. Le chapitre 3 montre également que le marché de l'assurance a évolué depuis les années 1950 et que des alternatives à l'assurance se sont développées, élargissant ainsi le champ des possibles pour la couverture du risque nucléaire.
[27] Le chapitre 3 montre que cette couverture prend différentes formes selon les pays et analyse en détail le marché de l'assurance du risque nucléaire.

toujours pour responsable l'exploitant de la centrale nucléaire où s'est produit l'accident, il n'en demeure pas moins que la solvabilité de cet exploitant doit être garantie. En effet, sa solvabilité est primordiale pour garantir le droit des victimes à être indemnisées. Sans cette obligation, l'indemnisation serait aléatoire, ce qui, d'un point de vue redistributif (et moral) n'est pas acceptable. Il se peut que l'exploitant n'ait pas l'incitation nécessaire à adopter un niveau de précaution suffisant. Quel est le risque pour lui dans ce cas? Ce qu'il risque, dans la pire des situations, c'est d'être ruiné. Son risque s'élève donc à la limite de ses ressources financières. Au-delà, il ne pourra de toute façon plus rien payer puisqu'il deviendra insolvable. Dès lors, on peut s'attendre à ce qu'il se contente de fixer son niveau de précaution au niveau minimum qui lui garantit la protection de ses ressources financières et pas au-delà. De cette manière, ses ressources sont protégées. Ce qu'il advient des dommages excédentaires non réparés n'est pas son souci. Il n'est, en effet, pas incité à adopter un niveau de précaution supérieur à celui qui protège ses ressources, puisque au-delà de ces dernières, il n'a plus rien à perdre. Or, si ces ressources sont insuffisantes pour réparer la totalité des dommages, le niveau de précaution alors adopté par l'exploitant s'avérerait insuffisant et donc inefficace pour indemniser toutes les victimes. Une fois son seuil de solvabilité protégé, ses mesures marginales de précaution seraient plus coûteuses pour lui que leurs bénéfices marginaux (qui en l'occurrence seraient nuls). En cas d'insolvabilité du responsable, le principe du "pollueur-payeur" ne fonctionne alors plus. Ce problème d'insolvabilité face à la condamnation à réparer est connu sous le nom du problème du *judgement proof* (ou "évasion de responsabilité") largement étudié par Shavell (1986). Si l'insolvabilité du responsable pose problème pour l'indemnisation des victimes, elle est plus préoccupante encore lorsqu'elle devient une stratégie pour lui. En effet, s'il sait qu'il ne pourra pas remplir en totalité son obligation d'indemnisation en cas d'accident, son incitation à diminuer le risque et son consentement à contracter une assurance pour le couvrir en sont réduits (Summers, 1983; Shavell, 1986)[28]. Son insolvabilité devient alors une externalité transférée à la collectivité.

Pour éviter ce problème, trois options peuvent être retenues. Premièrement, et c'est l'option la plus souvent avancée, le problème du *judgement proof* peut être évité par la substitution de la règle de RC subjective à la règle de RC objective. En effet, même si avec la première il existe un risque que les victimes ne soient pas indemnisées, l'auteur potentiel du

[28] Deffains (2000) montre à ce sujet que l'insolvabilité utilisée à des fins stratégiques devient alors une variable endogénéisée par l'auteur potentiel du dommage.

dommage sera toujours incité à adopter un niveau de précaution optimal[29]. Ce faisant, il met ainsi de son côté toutes les chances de ne pas être condamné. Cependant, il est aussi possible d'éliminer le problème d'insolvabilité tout en conservant la règle de RC objective. En effet, la deuxième option, avancée par Boyd et Ingberman (1994), considère que l'existence d'un plafond à la RC objective de l'exploitant peut éviter le problème en remédiant à une dissuasion insuffisante de l'exploitant en cas d'insolvabilité de sa part. Néanmoins, cette option ne garantit pas de façon certaine que les montants d'indemnisation (à hauteur du plafond) seront disponibles au moment des réclamations. Il est en effet toujours envisageable que l'exploitant soit insolvable. Enfin, avec la règle de RC objective il existe un moyen sûr de garantir la solvabilité de l'exploitant : c'est précisément ce que vise l'obligation d'assurance ou de garantie financière imposée dans l'article 10 de la Convention de Paris. En situation d'insolvabilité, situation dont la probabilité augmente avec les risques catastrophiques, Jost (1996), Skogh (2000) et Kunreuther et Freeman (2001) montrent que coupler la règle de RC objective avec cette obligation supprime le problème du *judgement proof*. En effet, puisque l'exploitant nucléaire a l'obligation de couvrir sa responsabilité, il sera forcément en mesure d'honorer son devoir de réparation en cas d'accident[30]. Il réparera alors les dommages soit en utilisant la garantie financière qu'il avait fait approuver auparavant par l'Etat, soit en faisant appel à son assureur. En outre, son niveau de précaution sera certainement plus élevé car son assureur peut exercer sur lui une pression en lui imposant des contraintes de sûreté. C'est pour pallier ces mêmes problèmes d'insolvabilité et de négligence qu'un régime d'assurance-responsabilité obligatoire a été instauré, en France, pour les accidents de la circulation dès 1958.

(5) ***Unicité juridictionnelle*** (article 13). Ce principe signifie qu'en cas d'accident nucléaire, seuls les tribunaux de la partie contractante sur le territoire de laquelle l'accident a eu lieu sont en charge de statuer sur les actions en réparation engagées par les victimes. Si le lieu de l'accident ne peut être déterminé avec certitude ou si l'accident survient en dehors du territoire des parties contractantes, les tribunaux compétents sont ceux de l'Etat dans lequel se situe l'installation dont l'exploitant est responsable.

[29] Selon la règle du Juge *Learned Hand* citée plus haut (note 5), nous rappelons que l'optimalité de ce niveau se définit comme l'égalisation entre le bénéfice et le coût marginal de la précaution.

[30] Il est possible, bien sûr, que l'exploitant use d'autres subterfuges (légaux ou non) pour minimiser ses pertes financières, en cas de condamnation, par exemple en divisant les droits de propriété de l'entreprise en entités juridiques indépendantes et/ou par la création d'une société fictive, qui sera la seule à supporter le risque financier. En cas de devoir de réparation, cette société peut ainsi être mise en cessation d'activité et mettre ainsi l'industriel à l'abri de la faillite. Cette pratique a notamment été dénoncée dans l'Affaire du naufrage Erika, en 1999.

Ce principe participe aussi de la logique *ex post* de la Convention. L'unicité juridictionnelle est justifiée par le fait qu'elle permet une plus grande efficacité et une plus grande rapidité des décisions prises en matière de réparation et d'indemnisation des victimes. Elle permet d'éviter les incohérences, les inégalités ou les contradictions qui pourraient apparaître si plusieurs tribunaux de différents pays statuaient indépendamment. Ce principe constitue l'une des garanties essentielles d'une indemnisation équitable des victimes. A défaut, celles-ci seraient amenées à intenter des actions devant différents tribunaux qui ne statueraient pas nécessairement de façon uniforme et devraient se répartir le montant de la garantie.

(6) ***Non-discrimination entre les victimes*** (article 14). Dans un souci évident d'équité, le texte prévoit une égalité de traitement entre les victimes quels que soient leur nationalité, leur résidence ou leur lieu de domicile. Ce principe renforce encore la protection des victimes.

(7) ***Libre transfert des indemnités*** (article 12). Les indemnités payables aux victimes doivent être librement transférables entre les parties contractantes. Ce principe a pour but d'éliminer tout obstacle d'ordre monétaire ou réglementaire qui pourrait entraver l'indemnisation des victimes d'un pays à un autre. Ce principe est facilité aujourd'hui par le fait que neuf membres de la Convention de Paris sur quinze utilisent désormais la même monnaie : l'euro. A nouveau, c'est la protection des victimes qui est visée par ce principe.

Aucun des principes de la Convention de Paris ne s'applique pour les accidents survenus sur un territoire d'une partie non contractante.

La Convention de Paris a mis en place des principes de responsabilité spécifiques et restrictifs. La Convention de Bruxelles a tempéré cette orientation en élargissant l'indemnisation des victimes.

2.1.1.2. La Convention de Bruxelles : une plus large indemnisation

Pour renforcer davantage l'objectif de protection des victimes, la Convention de Paris fut complétée par une seconde convention : la Convention de Bruxelles, dite *complémentaire à la Convention de Paris*. Cette convention, signée le 31 Janvier 1963, est entrée en vigueur le 4 décembre 1974.

La Convention de Bruxelles, également élaborée sous l'égide AEN/OCDE, est venue confirmer la logique *ex post* de la Convention de Paris. Elle a pour origine le fait que la

limitation de RC de l'exploitant, mise en place par la Convention de Paris, n'allait pas dans le sens de la protection des victimes. En effet, bien que nécessaire pour protéger l'industrie nucléaire naissante et garantir l'assurabilité du risque, le plafond de responsabilité constituait en soi une limite à l'indemnisation des victimes. Si l'exploitant ne prend en charge qu'une partie des dommages, qu'advient-il alors des dommages excédentaires si le coût de l'accident dépasse le plafond de l'exploitant ? Qui complètera l'indemnisation des victimes ? En conservant le plafond de responsabilité, il fallait donc trouver un moyen de compléter l'indemnisation prise en charge par l'exploitant. Le choix a alors été fait d'introduire, par la Convention de Bruxelles, un principe de solidarité financière entre les Etats contractants. Cette solidarité prend la forme de mécanismes supplémentaires d'indemnisation, financés sur fonds publics, pour les cas où les montants fournis au titre de la Convention de Paris s'avèreraient insuffisants. Par ces mécanismes, il est établi d'une part, que l'Etat dans lequel l'installation de l'exploitant responsable de l'accident se situe est assigné à prendre en charge tout ou partie des dommages excédentaires et que d'autre part, les autres Etats membres doivent intervenir conjointement au-delà pour l'assister si besoin est. La Convention de Bruxelles a été ratifiée par douze Etats parties à la Convention de Paris. Ses membres sont présentés dans le Tableau 1.

Pays[31]	Date de ratification à la Convention de Paris (1960)	Date de ratification à la Convention de Bruxelles (1963)
Allemagne	1975	1975
Belgique	1966	1985
Danemark	1974	1974
Espagne	1961	1966
Finlande	1972	1977
France	1966	1966
Grèce	1970	…
Italie	1968	1976
Norvège	1973	1973
Pays-Bas	1979	1979
Portugal	1977	…
Royaume-Uni	1966	1966
Slovénie	2001	2003
Suède	1968	1968
Turquie	1961	…

Tableau 1. Les Etats parties aux Conventions de Paris (1960) et de Bruxelles (1963)

[31] L'Autriche, le Luxembourg et la Suisse ont signé les Conventions de Paris et de Bruxelles mais ne les ont pas ratifiées. Quant à la Grèce, le Portugal et la Turquie, pourtant parties à la Convention de Paris, n'ont pas signé la Convention de Bruxelles.

Le texte complet de la Convention de Bruxelles est présenté dans l'Annexe 2. Les dispositions supplémentaires mises en place par la Convention de Bruxelles participent de la même logique *ex post* que la Convention de Paris. Redéfinissant le plafond de l'exploitant, elles ont ainsi abouti à l'établissement de trois tranches de risque :

(1) Les exploitants des Etats parties sont tenus de couvrir leur RC pour un montant minimum de 5 millions DTS[32] (5,8 millions €) (article 3 b)i)).

(2) Au-delà de du plafond de l'exploitant, l'Etat dans lequel l'accident s'est produit doit financer les réparations dans une limite maximale de 175 millions DTS (190millions) (article 3 b)ii)). Il est explicitement indiqué dans l'article 3 c)ii) de la Convention que l'Etat intervient par solidarité et non pas par responsabilité.

(3) Si cette prise en charge, combinée avec le plafond de l'exploitant, demeure toujours insuffisante, une troisième tranche est alors financée au niveau supranational. L'article 3 b)iii) de la Convention de Bruxelles prévoit en effet qu'en dernier recours, les Etats parties aux deux Conventions de Paris et de Bruxelles prennent conjointement en charge une part des dommages excédentaires dans une limite maximale de 300 millions DTS[33] (360 millions €). Ils financent donc conjointement un maximum de 125 millions DTS de réparations (139,5 millions €). La contribution individuelle de chaque partie à ce montant n'est pas égalitaire et est fixée selon les proportions suivantes : 50% selon leur PNB (Produit National Brut) (rapport de leur PNB sur la somme des PNB de tous les membres) et 50% selon leur capacité nucléaire installée (mesurée en termes de puissance thermique des réacteurs sur la somme des puissances thermiques des réacteurs de tous les membres) (article 12). Cette troisième tranche est fixe quelque soit le nombre de pays contributaires.

Par la hausse des montants d'indemnisation disponibles qu'elle a mise en place, la Convention de Bruxelles vient renforcer la logique *ex post* du régime AEN/OCDE.

Principalement européennes, les Conventions AEN/OCDE peuvent être considérées comme des conventions régionales. Tous les pays contractants au régime AEN/OCDE doivent transposer les dispositions des Conventions dans leur droit nucléaire national. A condition que les principes fondamentaux soient respectés, une certaine marge de manœuvre leur est accordée (par exemple, par les articles 7 b) et 15 de la Convention de Paris).

[32] En 1963, la Convention de Bruxelles parlait encore en "unités de compte" de l'Accord Monétaire Européen qui sera remplacé en 1982 par les D.T.S. Pour plus d'explication, se reporter à la section 2.2.1.1.

[33] Dans une première version de la Convention de Bruxelles, ce montant s'élevait à 120 millions DTS (139 millions €) (Busekist, 1989).

Pour le reste de l'Europe, ainsi que pour des pays d'autres continents (majoritairement en voie de développement) un second régime de RC nucléaire, à vocation cette fois internationale, a été mis en place en parallèle des Conventions de Paris et de Bruxelles. Il s'agit du régime de la Convention de Vienne de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA).

2.1.1.3. La Convention de Vienne : une vocation plus internationale

La Convention de Vienne, dite *relative à la RC en matière de dommages nucléaires* a été signé le 21 mai 1963 sous l'égide de l'AIEA et compte actuellement trente-quatre Etats ratificateurs (Annexe 3). Contrairement aux Conventions AEN/OCDE, la Convention de Vienne a une portée mondiale. Ses membres proviennent d'Amérique du Sud, d'Europe de l'Est et d'Asie[34].

La Convention de Vienne a véritablement été calquée sur la Convention de Paris. D'abord, son préambule affiche le même objectif prioritaire : la protection des victimes. Ensuite, la Convention de Vienne reprend les mêmes principes fondamentaux de responsabilité et les dispositions générales. La RC des exploitants de ses membres est, en effet, objective (article IV 1), canalisée (article II 5) et limitée. Le plafond financier de RC fut à l'origine fixé à 5 millions$-or par accident (4 millions €) (article V 1) et le délai de prescription à dix ans (article VI 1). Les cas d'exonérations de responsabilité sont identiques à ceux de la Convention de Paris (article IV 3) et les exploitants nucléaires sont soumis à une obligation d'assurance (article VII 1). Il est aussi explicitement prévu que l'Etat paye lui-même les indemnités à la place de l'exploitant dans la limite de son plafond s'il s'avérait que lui ou son assureur était insolvable. Le texte de 1963 ne prévoit cependant pas de tranches supplémentaires d'indemnisation au-delà du plafond comme c'est le cas dans la Convention de Bruxelles du régime AEN/OCDE. La Convention de Vienne a pour mission d'étendre ces principes à l'échelle internationale à des pays économiquement (et/ou politiquement) éloignés de l'Europe occidentale. Son préambule précise ainsi que la Convention doit *"contribuer (…) au développement de relations amicales entre les nations, quels que soient leurs régimes constitutionnels et sociaux"*. Les définitions d'un "accident nucléaire", d'une "installation nucléaire", d'un "exploitant" et d'un "dommage nucléaire" sont, à quelques détails près,

[34] Le texte intégral de la Convention de Vienne est disponible en ligne sur le site de l'AIEA (au 01.01.2007 : www.iaea.org). Concernant ses membres, notons que la Slovénie, qui a adhéré récemment aux Conventions de Paris et de Bruxelles est aussi partie à la Convention de Vienne.

reprises de la Convention de Paris. Notons toutefois que la Convention de Vienne rajoute la définition d'un "réacteur" (article I 1 i)).

A cause du peu d'intérêt que les pays manifestaient à son égard, la mise en place de la Convention de Vienne a été très lente (Lamm, 1998). Les pays visés étaient soit politiquement loin de ces préoccupations environnementales et sanitaires, soit non nucléarisés. A cause de cette léthargie, la Convention de Vienne n'est entrée en vigueur que le 12 novembre 1977, soit quinze ans après sa signature. Néanmoins, son déploiement s'est accéléré après l'accident de Tchernobyl et l'ouverture des pays d'Europe de l'Est. Ces événements ont conduit de nombreux pays d'ex-URSS à prendre conscience de l'importance d'instaurer un régime de responsabilité en cas d'accident nucléaire et donc d'adhérer à la Convention de Vienne. Par exemple, la Russie, qui a longtemps été réticente, a finalement ratifié la Convention de Vienne en 2005[35].

La logique *ex post* du régime AEN/OCDE n'est plus à démontrer. Ce régime s'est construit autour d'un objectif prioritaire : protéger au mieux les victimes d'un accident nucléaire en maximisant leur indemnisation. Le défi consiste à présent à relire le régime à travers le spectre de la science économique et à l'interpréter dans une perspective *ex ante*. Qu'enseigne alors cette réinterprétation des Conventions AEN/OCDE ?

2.1.2. Les limites des Conventions de première génération : l'inefficacité statique

Depuis de nombreuses années, la question des fonctions et des buts de la RC anime de vifs débats entre juristes et économistes qui ne lui attribuent pas le même rôle. Si les deux doctrines s'accordent pour dire que la RC est un instrument central de la gestion des risques en société, elles l'appréhendent sous des angles d'approche très différents. Les juristes attribuent comme rôle essentiel à la RC *la garantie de l'indemnisation des victimes*. La RC a donc avant tout pour eux une dimension redistributive *ex post*. Nous avons vu que c'est précisément la démarche adoptée par les rédacteurs des Conventions AEN/OCDE. Au contraire, les économistes mettent l'accent sur le rôle *préventif* de la RC, c'est-à-dire, sur sa capacité à fournir les incitations suffisantes à l'internalisation et la prévention du risque. Dans cette approche, la RC a pour mission d'inciter au respect de l'internalisation coasienne. Dès lors,

[35] L'examen de la Convention de Vienne n'ira pas plus loin. Nous rappelons que nous nous concentrons dans cette analyse sur les Conventions de Paris et de Bruxelles qui régissent les accidents nucléaires en Europe de l'Ouest. Nous nous focaliserons donc, par la suite, principalement sur le régime AEN/OCDE.

son rôle consiste à faire supporter les coûts du risque à son auteur et de là, à l'amener à adopter un niveau optimal[36] de précaution dans le but d'éviter l'accident. A la différence de l'approche juridique, l'approche économique présente donc une logique *ex ante* ; la question n'étant pas de se demander qui paiera les dommages après l'accident mais comment éviter que l'accident ne survienne. Cette conception de la RC trouve son fondement dans la notion de *faute*. En effet, comme mentionné précédemment, si l'auteur potentiel d'un dommage est soumis à la règle de RC subjective, il sera incité à adopter un niveau de précaution optimal pour éviter d'être condamné en cas d'accident. L'action préventive de la RC est donc, dans ce cas, efficace. Avec la généralisation de la règle de RC objective aux risques catastrophiques, cette dimension incitative est moins garantie, notamment s'il existe un risque d'insolvabilité de l'auteur potentiel du dommage. Or, le risque d'insolvabilité est élevé pour ces risques-là. Dans ce cas, nous avons vu que l'imposition d'une obligation d'assurance peut rétablir le rôle incitatif et préventif de la RC. Dans un certain sens, la vision des juristes et des économistes convergent dans leur appréhension protectrice des victimes : les juristes veulent protéger la victime en réclamant la restitution de sa situation initiale[37] par le biais de la réparation et de l'indemnisation et pour les économistes, la meilleure façon de protéger la victime est d'éviter l'accident. Malgré la persistance des débats, juristes et économistes reconnaissent mutuellement les deux rôles fondamentaux et complémentaires de la RC que sont l'indemnisation et la prévention. Tunc (1989), résume bien cette reconnaissance : *"L'indemnisation de la victime est, elle aussi, une fonction fondamentale de la responsabilité : on ne peut en douter. La responsabilité doit à la fois décourager les comportements antisociaux et assurer l'indemnisation de ceux qui seraient victimes d'un tel comportement"*.

Dans tous les cas, le défi est bien de choisir une règle de RC efficace vis-à-vis de l'objectif recherché. Or, l'interprétation *ex ante* du régime AEN/OCDE de RCN nous enseigne que les Conventions de première génération sont indéniablement contestables. Elles présentent en effet deux inefficacités qui conduisent à un défaut évident d'internalisation des coûts du risque par l'exploitant : une dissuasion par la canalisation (2.1.2.1) et une protection industrielle illégitime (2.1.2.2).

[36] au sens de la règle du juge de *Learned Hand* déjà citée.

[37] Un argument à l'encontre de cette approche consiste à souligner que la restitution de la situation initiale des victimes est souvent impraticable, en particulier lorsque les dommages sont irréversibles (dommages corporels, décès, destruction totale d'un patrimoine, etc.).

2.1.2.1. La dissuasion par la canalisation

Si la canalisation favorise les victimes dans leurs actions récursoires, elle peut néanmoins difficilement être considérée comme un instrument efficace de prévention des accidents. En effet, est-il justifié de désigner un responsable unique en tout lieu et en tout temps sans en connaître la contribution relative au risque ?

Imaginons qu'un accident nucléaire survienne en cours de transport. Dans ce cas, non seulement l'exploitant de l'installation expéditrice du convoi sera tenu pour responsable (comme le postule l'article 4 a) de la Convention de Paris), mais il ne pourra pas partager la responsabilité avec le transporteur ou l'exploitant destinataire[38]. D'un point de vue économique, cette canalisation est problématique parce que le pollueur (l'exploitant) n'est plus tenu responsable uniquement pour le dommage qu'il cause, mais aussi pour le dommage causé par ses partenaires (Bouckaert, 1991 ; Faure, 2007b). Pourquoi l'exploitant expéditeur serait-il désigné d'office responsable alors qu'il peut ne pas avoir contribué à l'accident ? On peut en particulier se demander, dans ce cas, quelle est l'incitation du transporteur à la précaution ? En effet, si la RC des autres acteurs de la chaîne de production nucléaire est protégée (comme celle des sous-traitants par exemple), ils n'ont alors aucune incitation à adopter un comportement préventif. S'ils s'appuient sur la règle du juge *Learned Hand* pour fixer leur niveau optimal de précaution, le coût de leurs mesures de précaution est alors rapidement plus élevé pour eux que leur bénéfice. Si la RC du transporteur n'est jamais engagée en cas d'accident nucléaire, toute mesure de précaution représente pour lui une pure perte. Rationnellement, son niveau optimal de précaution est donc fixé, dans ce cas, à zéro[39]. Ainsi, la canalisation opère un transfert de toute la responsabilité de l'industrie sur l'exploitant. Elle réduit, de ce fait, d'autant les incitations à la prévention de ses partenaires. Ce défaut de prévention de la canalisation, connu sous le terme d'*underdeterrence* (sous-dissuasion), est un problème bien connu qui a fait l'objet de plusieurs analyses (Faure et Hartlief, 1998 ; Vanden Borre, 1999).

L'*underdeterrence* soulève un autre problème, celui du contrôle par l'exploitant du comportement de ses partenaires. Cette situation s'apparente à une situation d'agence dans

[38] Sauf dispositions contraires ajoutées au contrat entre l'exploitant et le transporteur, prévues dans l'article 4 de la Convention de Paris. Toutefois, nous tenons le cas de la RC exclusive de l'exploitant comme un cas général étant donné que, pour des raisons de confidentialité, nous n'avons pas accès à ce type de contrat.

[39] Nous n'introduisons pas ici le rôle que peut avoir la réglementation de sûreté sur la prévention des accidents car nous nous focalisons sur la dimension incitative de la règle de RC. Toutefois, la réglementation sur la sûreté a un rôle important en matière nucléaire et nous l'aborderons dans le chapitre 2. De plus, ce défaut d'incitation du transporteur peut être limité dans le cas où l'exploitant lui impose une charte qualité ou des contrôles de sûreté indépendants.

laquelle la victime peut mener une action en justice à l'encontre d'un principal (l'exploitant) pour un dommage causé par un agent (par exemple un transporteur sous contrat avec le principal) (Ross, 1973). Du fait de la canalisation, l'exploitant-mandant doit alors inciter le partenaire-mandataire à atteindre un niveau de précaution optimal. En effet, l'attribution exclusive de la responsabilité à l'exploitant implique qu'il a à sa charge de contrôler et d'améliorer les incitations à la précaution de tous ses partenaires, pour éviter qu'il n'ait à assumer une négligence de leur part. Or, cette charge est d'autant plus lourde que ses partenaires sont nombreux (constructeurs, transporteurs, producteurs de combustible nucléaire…) et les coûts d'information et de contrôle élevés (Deffains, 2000).

Toutefois, ce problème de contrôle peut être nuancé pour le cas précis de l'industrie nucléaire. En effet, le contrôle du comportement des partenaires de l'exploitant devrait être facilité par le fait que l'industrie est marquée dans beaucoup de pays par une tendance nette à l'intégration verticale[40]. Par exemple, dans l'industrie nucléaire française, les transports de déchets radioactifs sont gérés par TN International qui appartient à l'exploitant nucléaire AREVA NC (anciennement Cogema), lui-même filiale d'AREVA[41]. Or, conformément aux développements théoriques récents de l'économie des organisations, la dominance d'une structure verticalement intégrée dans une industrie peut aider au contrôle des risques (Coeurderoy et Quelin, 1997 ; Williamson, 1971, 1985, 2005 ; Ménard, 2004). Pour une entreprise, le choix de l'intégration se centre initialement sur l'arbitrage qui se fait entre recourir au marché (par exemple en mettant en concurrence les fournisseurs d'un service ou d'un input) ou faire soi-même, dans le cadre de l'entreprise intégrée. C'est le fameux choix entre "faire" ou "faire faire". L'intégration verticale a de nombreux avantages, en particulier lorsque l'industrie génère un risque environnemental et sanitaire catastrophique et qu'elle produit un bien spécifique (l'électricité) qui nécessite, pour des raisons de sûreté et de sécurité de l'approvisionnement, une coordination très étroite entre les différents partenaires. Dans ce cas, l'indépendance et la dispersion des partenaires (des sous-traitants par exemple) peut engendrer des coûts de transaction et de contrôle beaucoup plus élevés que s'ils étaient

[40] L'intégration verticale consiste en l'acquisition ou la fusion d'entreprises dont les activités se situent dans la même chaîne de valeurs, mais à des phases différentes du processus de production. Traditionnellement, les principales phases de ce processus sont (de l'amont vers l'aval) : conception, construction, production, commercialisation. Lorsqu'une industrie est intégrée verticalement, toutes ces phases sont effectuées par plusieurs entreprises regroupées au sein d'une même entité juridique et qui ont un propriétaire commun.

[41] AREVA est un groupe industriel français créé en 2001 et le leader mondial des métiers de l'énergie. Il est issu de la fusion de CEA Industrie, Framatome et Cogema. Il est présent dans l'ensemble des activités industrielles liées à l'énergie nucléaire : mines, chimie, enrichissement, combustibles, services, ingénierie, propulsion nucléaire et réacteurs, traitement, retraitement, assainissement-démantèlement. Il est aussi spécialisé dans l'acheminement de l'électricité. Malgré les discussions entamées par le gouvernement français depuis 2003 sur la privatisation du groupe, AREVA reste, à ce jour, une entreprise publique.

intégrés. Ainsi, bien qu'une frontière existe dans la RC entre l'exploitant et les autres acteurs de la chaîne de production, du fait de la canalisation, l'intégration verticale de l'industrie nucléaire permet sans doute un meilleur contrôle des partenaires de l'exploitant[42]. De ce fait, le défaut d'incitation à la précaution de ces derniers est réduit. Cet effet est accentué, en France, par la structure monopolistique de la production électronucléaire. En effet, étant donné que l'exploitant EDF est seul sur ce marché, il est aussi l'unique client de ses partenaires. Cette situation de monopsone pousse alors ces derniers (comme le transporteur) à adopter un comportement de précaution plus élevé, pour sauvegarder leur activité.

Ainsi, bien que favorisant les victimes dans leurs recours en justice, la canalisation de la RC sur l'exploitant a, *ceteris paribus,* un effet global négatif sur la prévention des accidents. Seul un contrôle rigoureux et régulier de ses partenaires par l'exploitant peut espérer réduire cette inefficacité. Cependant, la RC de l'exploitant est elle-même limitée par un plafond financier. Cette limite le protége donc d'une part de sa responsabilité en cas d'accident. Dès lors, même s'il contrôle drastiquement ses partenaires, l'exploitant peut être lui-même à l'origine d'un défaut de précaution.

2.1.2.2. La limite de RC : une protection industrielle illégitime ?

L'établissement d'un plafond financier par la Convention de Paris est sans aucun doute l'élément le plus intéressant du régime de RCN AEN/OCDE. Rappelons que ce plafond financier a été initialement mis en place dans le but de protéger l'industrie nucléaire naissante et de rendre le risque nucléaire assurable. De là, trois questions se posent : ces deux justifications sont-elles pertinentes ? La mise en place d'un plafond de responsabilité permet-il de répondre efficacement à ces objectifs ? Et surtout : du point de vue *ex ante*, parvient-il à fournir les incitations suffisantes à l'internalisation et à la prévention du risque ? Etant donné que l'assurabilité du risque nucléaire requiert une analyse spécifique, cette seconde justification sera traitée dans la section suivante. Qu'en est-il alors de la protection de l'industrie nucléaire naissante ?

[42] L'analyse approfondie des effets de l'intégration verticale dans l'industrie nucléaire n'est pas l'objet de ce travail. Aussi, pour plus de détails sur cette littérature, se reporter à Williamson (1971, 1985, 2005) et Ménard (2004). De la même manière, la question de savoir si le régime actuel de RC pourrait être une des causes de l'intégration verticale dans l'industrie nucléaire mérite d'être posée mais n'est pas le sujet.

Si cet argument, déjà ancien (List, 1841), pouvait justifier la limitation de la RC de l'exploitant dans les années 1960, il est désormais totalement obsolète. Lorsque les Conventions AEN/OCDE ont été rédigées, l'industrie nucléaire civile était effectivement une industrie jeune, peu dynamique et faiblement compétitive. Néanmoins, son environnement économique et technologique a beaucoup évolué. Aujourd'hui, elle est une industrie de pointe rentable et d'envergure internationale. En effet, l'industrie nucléaire bénéficie aujourd'hui d'une rente, communément appelée la "rente nucléaire". La "rente nucléaire" désigne la position avantageuse que l'industrie s'est construite depuis cinquante ans et dont elle profite pleinement aujourd'hui. La rentabilité des premières décennies se heurtait aux investissements très lourds en recherche et développement et en capacité de production que l'industrie devait consentir. Désormais, forte de sa longue expérience et de son expertise de pointe, elle est la source de bénéfices multiples : un patrimoine industriel de plusieurs milliards d'euros[43], un capital amorti (pour les centrales les plus anciennes), une technologie avancée et une électricité bon marché. En dépit des incertitudes techniques qui l'entourent encore, l'énergie nucléaire est, en effet, une des sources d'électricité les plus compétitives. Son coût de production est parmi les plus bas du marché. Il s'élève actuellement à 0,03€/kWh en Europe. Sa rente nucléaire est aussi due à la "rente CO_2", gaz que l'énergie nucléaire ne produit pas, contrairement à nombreuses de ses concurrentes. Grâce à d'importants programmes de recherche menés de concert par de nombreux pays depuis cinquante ans, l'industrie nucléaire a bénéficié d'améliorations significatives en termes de coûts, de progrès technique, d'efficacité énergétique et d'impact environnemental. Bien que ses investissements restent très coûteux et que certaines charges de long terme soient encore imprécises (coût du démantèlement, coût de gestion des déchets à vie longue), l'industrie est plus attrayante que dans les années 1960. Elle compte actuellement 440 réacteurs nucléaires en fonctionnement dans 35 pays du monde. Au-delà de son activité purement productive, l'industrie a, du fait de son succès, participé de l'essor de nombreuses autres branches qui lui sont liées d'un bout à l'autre de la chaîne : entreprises d'extraction et d'enrichissement d'uranium (EURODIF Production en France, AREVA NC), constructeurs de réacteurs et d'équipements nucléaires (AREVA NP), usines de retraitement et de stockage des déchets (AREVA NC, Andra), transport de matières radioactives (TN International) et enfin, centres de recherche (CEA) et de sûreté (DGSNR et IRSN). L'industrie pèse aujourd'hui positivement dans la comptabilité nationale et les balances commerciales des pays nucléarisés. En France, par exemple, en 2006, l'industrie

[43] Le parc électronucléaire français de 60GWe était estimé, en 1999, à 43 milliards € (Bataille et Galley, 1999)

nucléaire civile compte 120 000 emplois directs et indirects dont 20 000 chez EDF (EDF, 2006a), 33 000 chez AREVA (19 000 chez AREVA NC, 13 000 chez AREVA NP et 1000 chez AREVA TA), 16 300 au CEA et 360 à l'Andra[44]. Elle est également une industrie exportatrice (encadré 1) et génère des bénéfices élevés sans cesse croissants. Respectivement, AREVA a enregistré, en 2006, un bénéfice net de 649 millions € (auquel ses activités nucléaires contribuent à hauteur de 70%) et EDF un bénéfice net de 5,6 milliards € (AREVA, 2006 ; EDF, 2006b).

Encadré 1. L'exploitant de production nucléaire français : Électricité de France (EDF)

Forme juridique : société anonyme
Président d'honneur : Marcel Boiteux
Actuel président du C.A. : Pierre Gadonneix
Secteurs d'activité : fourniture d'énergie et services
Produits : électricité
Effectif : 167 300
Chiffre d'affaires 2006 : 58,9 milliards €

Électricité de France (EDF) est une entreprise publique créée le 8 avril 1946 à la suite de la proposition de nationalisation des biens de diverses entreprises de production, de transport et de distribution d'électricité. Cette mesure inscrite dans le programme du CNR a été portée par le ministre (communiste et syndicaliste) de la production industrielle Marcel Paul. En 1946, EDF obtient le monopole de la distribution par concession et le monopole de la production. Établissement public jusqu'en novembre 2004, elle a changé de statut, passant d'un EPIC (Établissement public à caractère industriel et commercial) à une société anonyme (SA) à capitaux publics le 19 novembre 2004. L'entreprise a introduit une partie de son capital en Bourse le 21 novembre 2005 et figure dans le CAC 40 depuis le 19 décembre 2005. Son capital est détenu à 87,3 % par l'État, à 10,8 % par le public (institutionnels et particuliers) et à 1,9 % par les salariés d'EDF.

Le nucléaire domine dans la répartition des sources d'énergie électriques d'EDF. Son parc nucléaire est actuellement composé de cinquante-huit réacteurs en fonctionnement (62400 MW). EDF comptait 37,8 millions € de clients dans le monde en 2006 (9,61 en Europe, dont 28,19 en France). EDF emploie 156 524 personnes, dont 106 565 en France. L'industrie nucléaire compte vingt mille employés. EDF exporte 10% par an de sa production d'électricité, grâce au nucléaire. EDF a engagé un programme important d'investissement dans toutes les filières de production : nucléaire avec le projet EPR de Flamanville, thermique à flamme avec le renforcement de ses capacités de pointe, hydraulique avec le programme de modernisation SuPerHydro (Sûreté et Performance de l'Hydraulique), éolien via les projets menés par EDF Énergies Nouvelles.

EDF est très présente dans le monde et détient de nombreuses participations dans la production et la distribution en Europe, en Amérique du Sud, en Afrique et en Chine. Depuis le 1er juillet 2007, en application des directives européennes de déréglementation, les activités de production, de négoce d'énergies et de commercialisation sont désormais dérégulées. Seules les activités de distribution et de transport d'électricité restent régulées.

Enfin, le développement de l'industrie nucléaire a été renforcé par la préoccupation commune de ces dernières années d'évoluer vers une économie sans carbone. A l'heure où le combat contre l'effet de serre est devenu la priorité des politiques énergétiques mondiales, l'industrie nucléaire trouve donc une place de premier plan. C'est la raison pour laquelle certains pays, qui avaient décidé d'entamer une sortie progressive du nucléaire et d'arrêter leurs centrales, sont en train de revoir leur position[45]. L'industrie nucléaire a donc encore de l'avenir devant elle. On ne peut donc plus parler aujourd'hui d'industrie naissante[46].

[44] Source : EDF (2006a).
[45] C'est notamment le cas des Pays-Bas qui a ralenti les mises en arrêt de ses centrales nucléaires.
[46] Si on se place du point de vue de l'évolution technologique des réacteurs nucléaires, on pourrait objecter que l'industrie nucléaire est perpétuellement, et de manière cyclique, une industrie naissante. On pourrait alors parler aujourd'hui, avec l'avènement des nouveaux réacteurs de génération III et l'EPR d'une nouvelle industrie naissante.

Dans un tel contexte, l'établissement d'un plafond financier à la RC de l'exploitant n'est plus pertinent. L'industrie nucléaire est une industrie rentable dont il n'est plus nécessaire d'assurer la protection. Certes, on peut admettre que, dans le cas particulier d'un accident nucléaire majeur, les ressources de l'exploitant puissent être limitées pour réparer tous les dommages. C'est la raison pour laquelle des fonds étatiques complémentaires sont prévus. Néanmoins, dans tous les autres cas, il semble difficilement justifiable de limiter la RC de l'exploitant au prétexte de son insolvabilité. En conséquence, le plafond ne répond pas à cet objectif puisque l'objectif lui-même n'est plus fondé.

Enfin, le plafond de RC est-il efficace d'un point de vue incitatif ? Comme l'enseigne la règle de l'internalisation coasienne, il est généralement préférable que ce soit l'auteur du dommage qui assume le risque qu'il génère par son activité. Nous avons déjà expliqué la logique de cette règle. Elle présente deux vertus. D'une part, elle oblige l'exploitant à assumer son risque et l'incite à adopter un comportement de précaution nécessaire à la prévention d'un accident. D'autre part, elle évite que les coûts du risque soient injustement supportés par la collectivité. Pour être efficace, l'internalisation des coûts du risque doit naturellement être intégrale. Or, s'il existe une limite à sa RC, l'exploitant n'a alors à assumer qu'une partie du risque qu'il génère. En conséquence, son internalisation n'est que partielle et son niveau de précaution risque d'être insuffisant. Si on se réfère à nouveau à la règle du juge *Learned Hand*, l'exploitant cesse d'accroître son niveau de précaution lorsque le coût des mesures de précaution supplémentaires dépasse leur bénéfice. Le bénéfice des mesures de précaution supplémentaires est mesuré par leur capacité à protéger les montants engagés par l'exploitant au titre de sa RC, c'est-à-dire à prévenir l'accident. Or, si sa RC est plafonnée, les montants engagés sont limités et les mesures de précaution le sont alors également. Au-delà des montants à protéger, les mesures de précaution supplémentaires deviennent inutiles et coûteuses. Elles sont donc rationnellement abandonnées. On retrouve le problème de l'*underdeterrence* soulevé par le principe de canalisation. Ce problème peut aussi avoir pour conséquence d'encourager l'exploitant à avoir un niveau excessif d'activité puisque sa RC n'est plus liée, du fait du plafond, au risque qu'il engendre (Diamond, 1974 ; Shavell, 1980). L'exploitant peut donc être incité à produire plus pour augmenter son profit. Or, un niveau excessif d'activité risque d'augmenter aussi le risque d'accident. Il peut prendre les formes suivantes : un sur-investissement nucléaire, quand un tel investissement n'aurait certainement pas été aussi rentable en l'absence de plafond de RC, un allongement de la durée de vie des centrales existantes au-delà de leur durée de vie prévue initialement (entre 40 et 45 ans) ou

encore un fonctionnement en pleine puissance des centrales, c'est-à-dire un rythme de production supérieur à leur fonctionnement prévu en base[47]. Bien entendu, ce niveau excessif de production est conditionné par l'existence d'une demande sur le marché.

En conclusion, que l'exploitant soit négligeant dans ses mesures de précaution ou qu'il augmente excessivement son niveau d'activité, d'un point de vue *ex ante*, le plafond de RC n'est pas efficace[48]. La limite de RC n'est plus justifiée du point de vue de la protection industrielle et fait obstacle à l'internalisation intégrale des coûts du risque par l'exploitant.

Cette analyse des Conventions de première génération a ainsi montré que le régime de RCN répondait en priorité à une logique *ex post* et qu'il avait, en ce sens, une vocation d'abord compensatoire. A cet égard, nous avons vu que la dimension incitative du régime était négligée et qu'il était inefficace au regard de l'internalisation et de la prévention du risque. La mise en évidence des inefficacités statiques des textes originaux a confirmé que le régime devait évoluer vers une perspective davantage *ex ante*. C'est dans ce but que les Conventions de Paris et de Bruxelles ont alors fait l'objet de révisions successives au cours du temps.

2.2. Les révisions successives du régime de RCN : vers une logique ex ante ?

Après son élaboration dans les années 1960, le régime AEN/OCDE a continué de se déployer, devenant un régime évolutif, avec l'adhésion d'un nombre croissant d'Etats. Cet élargissement du régime, combiné à la prise de conscience de ses inefficacités *ex ante*, a poussé les rédacteurs des Conventions à revoir les textes originaux. Les discussions ont ainsi abouti à l'élaboration de Conventions de deuxième génération dont nous analyserons les avancées (2.2.1.) et les insuffisances (2.2.2).

[47] Le fonctionnement en base d'une centrale nucléaire est la production continue d'électricité par un réacteur fonctionnant à puissance constante (en général à sa puissance nominale) sur une année. Il comprend jusqu'à 8000h/an. Il se distingue du fonctionnement en semi-base qui comprend jusqu'à 5000h/an et du fonctionnement en pointe qui en comprend moins de 3000.

[48] Dans ce chapitre, nous ne traitons que l'effet désincitatif de la règle de RC, isolément de l'existence d'autres sources d'incitations à la prévention. Ces autres sources d'incitations sont traitées dans le chapitre 2.

2.2.1. Les Conventions de deuxième génération : les avancées

Les révisions du régime international de RCN ont débuté dès les années 1960. Deux évolutions parallèles se distinguent : une évolution interne des Conventions AEN/OCDE (2.2.1.1.) et une harmonisation avec les autres régimes de RCN existants (2.2.1.2.).

2.2.1.1. Les révisions des Conventions de Paris et de Bruxelles

Les révisions des Conventions de Paris et de Bruxelles ont pris part à un processus itératif en trois étapes autour des Protocoles de révision de 1964, 1982 et 2004. Les protocoles additionnels de 1964 et de 1982 ont modifié très superficiellement le régime. En revanche, les Protocoles de 2004 l'ont significativement modifié.

Les Protocoles du 28 janvier 1964 ont immédiatement suivi la signature de la Convention de Bruxelles, qui venait elle-même compléter la Convention de Paris. Ces premiers protocoles ont très peu modifié les Conventions de première génération. Etant donné que de plus en plus de pays membres de la Convention de Paris adhéraient à la Convention complémentaire de Bruxelles, ils avaient pour but d'harmoniser les deux Conventions entre elles.

Les Protocoles du 16 novembre 1982 ont apporté deux modifications. Premièrement, ils ont intégré les nouveaux adhérents au régime. Deuxièmement, ils ont modifié l'unité monétaire des Conventions. Les droits de tirage spéciaux (DTS) définis par le FMI se sont donc substitués aux unités de compte de l'Accord Monétaire Européen[49], jusque là utilisées pour définir les montants d'indemnisation. Ce changement d'unité monétaire avait pour buts d'une part, d'éviter l'instabilité des montants due au risque de dévaluations compétitives et d'autre part, de garantir une certaine neutralité pour des parties ayant chacune leurs propres instruments monétaires.

[49] L'Accord Monétaire Européen (AME) est signé à Paris le 5 août 1955 par 17 pays européens qui avait pour vocation de remplacer l'Union Européenne des Paiements (UEP) en 1959. L'UEP assurait à l'Europe d'après-guerre une stabilité complète des changes et favorisait la libération des échanges commerciaux entre ses États membres. L'unité de compte utilisée était fixée en grammes d'or fin sur la base de la valeur du dollar en or. On avait en 1959 1 UCE (unité de compte européenne) = 1US$, puis en 1978, 1 Ecu = 1 UCE, en 1999 1 EURO = 1 Ecu.

Les rédacteurs des Conventions se sont satisfaits de ces modifications, pourtant superficielles, pendant plus de vingt ans. Il a fallu, en effet, attendre longtemps pour que les Conventions soient substantiellement améliorées. Pourquoi une telle volonté de changement ? C'est la catastrophe de Tchernobyl, survenue le 26 avril 1986, qui a mis en évidence l'urgence (paradoxalement tardive) de réviser profondément les Conventions de RCN. Cette catastrophe a révélé avec cruauté trois éléments fondamentaux. Premièrement, elle a confirmé qu'il fallait renforcer *ex ante* les mesures de prévention des accidents[50]. Ensuite, *ex post*, elle a montré qu'un accident nucléaire pouvait causer des dommages énormes, non seulement dans l'Etat où se trouve l'installation mais aussi à des milliers de kilomètres alentour et que les montants d'indemnisation mis en place par les Conventions étaient totalement insuffisants pour réparer de tels dommages. Après l'accident, il est donc apparu primordial de pallier ces problèmes. Les discussions ont été longues à se mettre en place[51] et trois impératifs en sont finalement ressortis : le régime devait davantage prendre en compte les spécificités liées à l'étendue géographique des dommages, la dimension incitative du régime devait être renforcée et les montants d'indemnisation devaient être accrus. C'est aux Protocoles dits *portant modification aux Conventions de Paris et de Bruxelles*, signés le 12 février 2004 sous la direction de l'OCDE, que l'on doit les plus importantes avancées. Ces Protocoles ne sont pas encore entrés en vigueur[52] : le PCP entrera en vigueur après ratification par les deux tiers des États signataires et le PCB, une fois ratifié par l'ensemble des États signataires de la Convention de Bruxelles. En France, leur entrée en vigueur est prévue pour 2008.

La prise en compte des spécificités de l'étendue géographique du régime impliquait de repenser certaines définitions. En particulier, c'est la définition d'un "dommage nucléaire" qui a fait l'objet de la plus grande attention. Bien avant la catastrophe de Tchernobyl de 1986, les spécialistes étaient conscients du fait que la définition du "dommage nucléaire" donnée par les Conventions de première génération était trop étroite et laconique, du fait, notamment, qu'elle ne faisait pas même état de certaines formes de dommages (dommages environnementaux ou coûts des mesures préventives, par exemple). Pourtant ce n'est qu'en 2004 que la notion de

[50] En 1986, l'Ukraine n'était pas membre des Conventions AEN/OCDE mais membre de la Convention de Vienne qu'elle a ratifiée en 1966 (Annexe 3). En conséquence, ses installations nucléaires n'étaient pas soumises aux mêmes normes de construction et de sûreté que les installations des pays d'Europe occidentale.

[51] Pour une présentation des différents facteurs qui ont ralenti le processus de décision, voir Dussart-Desart, 2005.

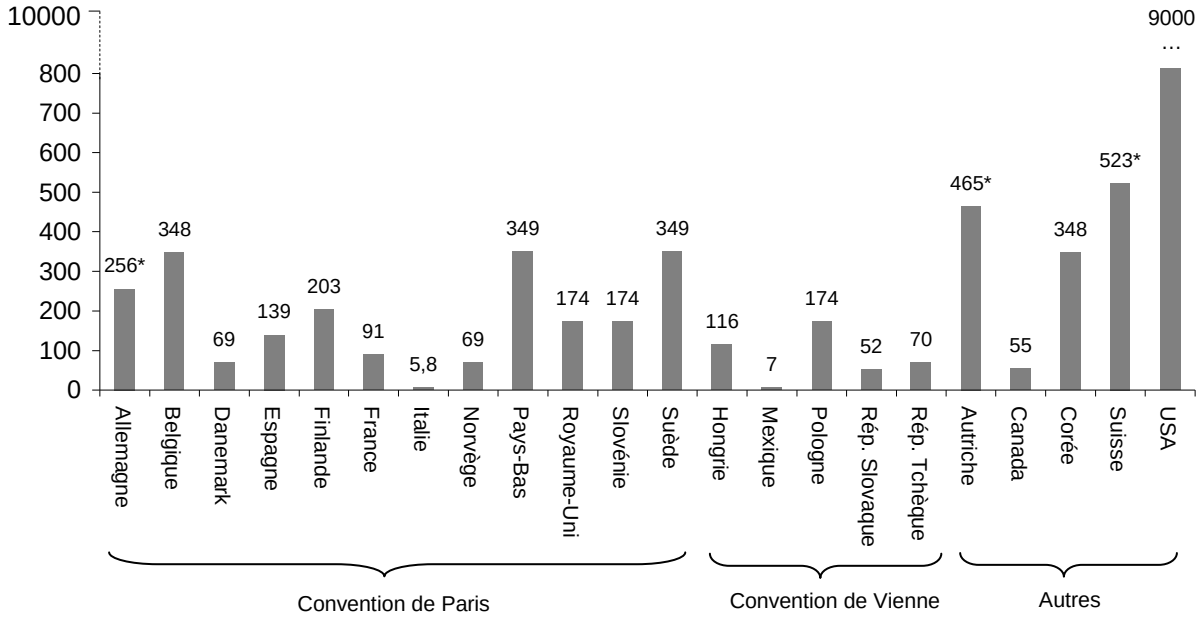
[52] Les textes consolidés des Conventions de Paris et de Bruxelles dernièrement modifiées sont disponibles en ligne sur le site de l'AEN (au 01.01.07 : www.nea.fr). Par la suite, ces Protocoles sont respectivement notés PCP pour le Protocole de modification de la Convention de Paris et PCB, pour le protocole de modification de la Convention de Bruxelles. Ils ne sont pas encore entrés en vigueur malgré une Décision du Conseil de l'UE du 8 mars 2004 autorisant les pays membres des Conventions à les ratifier *"dans un délai raisonnable et, si possible, avant le 31 décembre 2006"* (JO 1 avril 2004 L 97/53).

"dommage nucléaire" est formellement redéfinie. Deux modifications majeures y ont été apportées. D'abord, suite à l'accident de Tchernobyl, il était devenu évident que les dommages immatériels, le coût des mesures de restauration d'un environnement dégradé[53], le coût des mesures de sauvegarde et certaines autres pertes résultant de la dégradation de l'environnement (perte de revenu par exemple) pouvaient constituer la majeure partie des dommages d'un accident nucléaire. Reconnaissant l'importance de ces types de dommages, les Parties Contractantes se sont donc accordées pour les inclure dans les Conventions révisées (article B du PCP). Ensuite, pour la première fois, la dimension irréversible et transfrontalière des dommages est apparue avec d'une part, l'introduction des notions de "décès" et de "perte" (article B du PCP) et d'autre part, l'extension du champ d'application géographique des Conventions. Avant 2004, les Conventions ne s'appliquaient qu'entre deux Parties contractantes. Or, *"cette disposition frileuse, en contradiction avec le principe pollueur-payeur, ne pouvait résister à l'évolution du monde"* (Dussart-Desart, 2005, p.17). Dorénavant, les Conventions révisées s'appliqueront également, sous certaines conditions, entre les Parties Contractantes et non contractantes (article C du PCP). Une des avancées les plus significatives, à cet égard, est la reconnaissance des pays non nucléarisés. Toutes ces modifications avaient pour objectif d'indemniser davantage les victimes et dans un plus grand nombre de pays. Dans ce même but, les délais de prescription fixés par la Convention de Paris ont aussi été augmentés, passant de dix ans à trente ans pour les décès et dommages corporels. Le délai optionnel a été porté à trois ans (article I du PCP). Cette dernière disposition répondait à une demande de l'opinion publique, en particulier soucieuse des dommages latents.

Le deuxième impératif des protocoles visait la dimension incitative du régime. Comment a-t-elle été renforcée ? Pour accroître la logique *ex ante* du régime et respecter davantage la règle de l'internalisation coasienne, il fallait faire supporter une plus grande part de son risque à l'exploitant. Cette exigence a entraîné deux modifications. La première, que l'on considère généralement comme l'amendement le plus important apporté par les Protocoles de 2004, a consisté à relever significativement le plafond de RC de l'exploitant. Ce

[53] L'inclusion des dommages environnementaux dans cette redéfinition a par ailleurs justifié l'exclusion nucléaire lors de l'adoption de la Directive Européenne 2004/35/CE sur la responsabilité environnementale (*en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux*), signée le 21 avril 2004, peu de temps après les Protocoles.

plafond est alors passé de 5 millions DTS à 700 millions €[54], soit une multiplication d'un facteur 127 (article H du PCP). Cette disposition appelle deux remarques. Tout d'abord, l'unité monétaire des Conventions a été modifiée et l'euro s'est substitué au DTS. Ce changement présentait des avantages évidents de transparence et de stabilité, étant donné que les pays membres des Conventions AEN/OCDE sont tous en Europe occidentale. Ensuite, la Convention de Paris révisée a fixé un montant minimum et non plus maximum de RC (article H) et a institutionnalisé la règle de RC illimitée (article K). Cela signifie que les parties contractantes seront libres de prévoir dans leur législation nationale un montant supérieur à 700millions € ou, le cas échéant, de supprimer toute limitation de responsabilité de l'exploitant. Cette modification est cependant purement formelle. En effet, cette pratique existe déjà puisque plusieurs pays ont fixé dans leur législation des plafonds supérieurs à la limite fixée par la Convention de Paris de première génération (15 millions DTS, soit 18 millions €) ou ont même mis en place une RC illimitée (Allemagne). Le graphique suivant présente les différentes limites de RC actuellement en vigueur dans les pays parties à la Convention de Paris. Dans un but de comparaison, les limites de RC d'autres pays y sont aussi présentées.



Graphique 1. Limites de RC pour les exploitants nucléaires de vingt-deux pays (en millions €)

[54] En 1990, une Recommandation du Comité de Direction de l'AEN avait demandé aux Parties contractantes de fixer une limite de RC à un montant au moins égal à 150 millions DTS mais cette Recommandation n'avait jamais été formellement introduite dans le texte. Notons également que le PCP prévoit, pour les Etats ayant adhéré à la Convention de Paris seulement après le 1er janvier 1999, une période transitoire de 5 ans, dite de "*phasing-in*" au cours de laquelle leur limitation de responsabilité sera réduite à 350 millions € pour leur laisser le temps de constituer leur couverture (article U du PCP). Quant au plafond de RC concernant les accidents en cours de transport, il est porté à 80 millions €.

Les montants marqués d'une astérisque correspondent non pas à des plafonds de RC au sens strict mais à des sécurités financières exigées des exploitants, pour lesquels la RC est illimitée. A la lecture de ce graphique, le relèvement du plafond mis en place par le PCP est substantiel. En effet, il augmente jusqu'à dix fois certains plafonds actuels (hors Italie). Il représente un quadruplement par rapport aux 150 millions DTS recommandés dans la Convention de Bruxelles. En conséquence, l'exploitant nucléaire sera forcé d'internaliser une part beaucoup plus importante de son risque. A ce propos, les protocoles ont maintenu l'obligation d'assurance instituée par la Convention de Paris. Le second amendement qui confirme l'objectif incitatif a été la réduction des cas d'exonérations de responsabilité de l'exploitant. Désormais, les cataclysmes naturels de caractère exceptionnel n'en feront plus partie (article J du PCP). En outre, depuis les attentats du 11 Septembre 2001, la prise de conscience que les dommages résultant d'un attentat terroriste pouvaient être de très grande ampleur, a conduit certains assureurs nucléaires à exclure de leur garantie la couverture de ce type de risque et à demander la révision de l'article 9 de la Convention de Paris. Le PCP n'a cependant apporté aucune modification en ce sens. Ainsi, les actes terroristes ne sont toujours pas une cause d'exonération de responsabilité des exploitants nucléaires, qui doivent alors trouver le moyen d'en garantir la couverture.

Enfin, les Protocoles de 2004 ont augmenté les montants d'indemnisation de manière substantielle. Au-delà du plafond de RC de l'exploitant, les deux tranches supplémentaires de risque de la Convention de Bruxelles, financées sur fonds publics, ont été relevées à : 500 millions € pour l'Etat dans lequel se situe l'installation en cause[55] et 300 millions € pour la prise en charge conjointe des Etats membres[56] (article C du PCB). Ces modifications soutiennent tout à fait la logique compensatoire du régime. Avec le plafond de l'exploitant, la couverture totale d'un accident nucléaire s'élèvera donc désormais à 1500 millions €, dont 1200 millions € en fonds d'Etats. De plus, la clé de répartition des contributions au financement conjoint de la troisième tranche de risque par les Etats (300 millions €) a été modifiée (article L du PCB). Les contributions dépendront désormais de 35% du PIB (Produit Intérieur Brut) des pays (au lieu de leur PNB) et de 65% de leur puissance nucléaire installée. Cette nouvelle clé de répartition correspond à la fois plus à la nomenclature des comptes nationaux des pays de l'UE et rend la contribution davantage reliée au risque (Dussart-Desart, 2005). Contrairement au texte de 1963, cette troisième tranche de risque est variable et peut

[55] Pour les pays qui font le choix (comme l'Allemagne) de la RC illimitée, cette deuxième tranche supplémentaire est prise en charge par l'exploitant, bien qu'elle soit en principe financée sur fonds publics.
[56] Même lorsque la RC est illimitée, c'est le franchissement du seuil de 1200millions € qui déclenche le financement de cette tranche internationale et non l'épuisement de la totalité des actifs de l'exploitant.

donc augmenter avec le nombre de pays contributaires (article M PCB). Pour finir, la catastrophe Tchernobyl a suscité chez les gouvernements le souci de prévoir des dispositions pour le cas, extrêmement improbable, où une installation serait l'objet de deux accidents nucléaires la même année. Bien que le plafond de RC de l'exploitant soit défini "par accident" et non "par année", l'Etat prévoit d'indemniser lui-même les victimes du second accident à la place de l'exploitant, si son assureur n'est pas en mesure de payer à nouveau (article K du PCP). La figure suivante représente les évolutions de ces trois tranches de risque dues aux Protocoles de 2004.

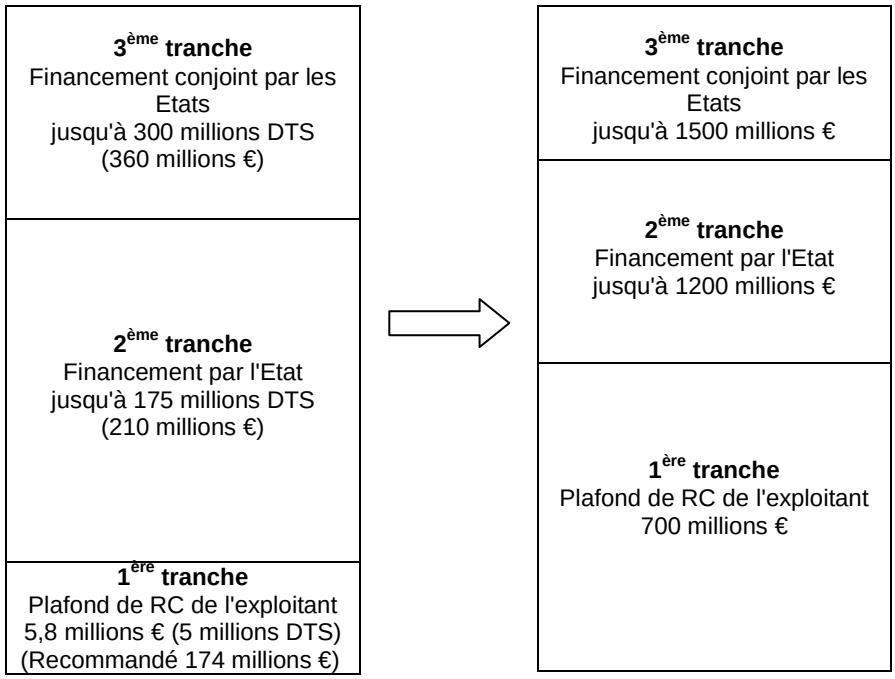


Figure 4. Les trois tranches de financement des réparations avant et après les Protocoles de 2004

Au total, les dimensions *ex ante* et *ex post* du régime AEN/OCDE ont été simultanément renforcées par les Protocoles de 2004. Parallèlement, une volonté globale d'harmonisation a rapproché les différents régimes de RCN existants.

2.2.1.2. L'harmonisation des régimes de RCN

L'harmonisation des régimes de RCN s'est faite en 3 étapes.

Premièrement, l'accident de Tchernobyl n'a pas eu comme seule conséquence d'accélérer la révision des Conventions de Paris et de Bruxelles. Il a également généré dans la communauté internationale le sentiment qu'un effort d'homogénéisation et de cohérence était nécessaire entre les différents régimes de RCN existants. En effet, l'accident a provoqué des

dommages à la fois en Europe de l'Est et en Europe de l'Ouest. Ainsi, des pays membres de régimes de RC différents ont subi les dommages d'un même accident. Même si les Conventions de Paris, de Bruxelles et de Vienne reposent sur les mêmes principes, il était nécessaire d'établir un dispositif formel pour coordonner la gestion d'un accident nucléaire pouvant impliquer simultanément leurs membres. Cette exigence était justifiée par le fait que les dommages pouvaient revêtir une dimension transfrontalière et qu'aucun pays n'était adhérent aux deux régimes à la fois[57]. Ainsi, une passerelle a été bâtie entre les régimes AEN/OCDE et AIEA avec la signature, le 21 Septembre 1988, d'un Protocole commun dit *relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris*. Ce protocole avait pour objectif de combiner les deux conventions dans un régime étendu de RC et de parer à tout conflit juridique relatif au transport international de matières nucléaires[58]. Entré en vigueur le 27 avril 1992, il est, à l'heure actuelle, ratifié par 9 membres à la Convention de Paris et/ou de Bruxelles[59] et 16 membres de la Convention de Vienne (Annexe 3). Cette passerelle a été une étape marquante dans la voie de l'instauration d'un régime universel de RCN. Le PCP de 2004 y fait d'ailleurs mention dans son article C.

Toutefois, une seconde étape cruciale devait être franchie pour que le Protocole de 1988 puisse être opérationnel. Les Conventions de Paris et de Bruxelles ayant entamé leur processus de révision depuis 1964, la Convention de Vienne devait, elle aussi, suivre leurs modifications. En effet, malgré son déploiement dans les années 1980, la Convention présentait d'importantes lacunes et restait un instrument inachevé. Après 9 ans de négociations, elle a finalement été amendée par un protocole, le 12 septembre 1997, qui lui a permis de sortir de sa léthargie[60]. Ce protocole n'a été pour l'instant ratifié que par 5 Etats (Annexe 3). Les amendements apportés sont semblables à ceux des Conventions AEN/OCDE et répondent à la fois à une logique *ex post* et *ex ante*. En bref, le champ d'application géographique, sur lequel la Convention était jusque là muette, a enfin été défini précisément (et étendu), la définition du "dommage nucléaire" a été élargie et les délais de prescription allongés. Le DTS a remplacé l'unité de compte dollar-or et le plafond de RC est passé d'un

[57] C'était effectivement le cas jusqu'en 2001-2003, où comme nous l'avons déjà mentionné, la Slovénie, alors membre de la Convention de Vienne, a aussi adhéré successivement aux Conventions de Paris et de Bruxelles.

[58] Au lendemain de l'accident de Tchernobyl, la signature du Protocole de 1988 a suivi l'adoption d'autres Conventions (plus mineures) telles que la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire (1986), la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique (1986) ou la Convention sur la sûreté nucléaire (1994). Le texte de ces trois Conventions est disponible en ligne sur le site de l'AIEA (au 01.01.07 : www.iaea.org).

[59] L'Allemagne, le Danemark, la Finlande, la Grèce, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Slovénie et la Suède.

[60] L'article XXVI 1 de la Convention originale de 1963 prévoyait déjà la possibilité d'une révision future. Le texte du Protocole de 1997 est disponible en ligne sur le site de l'AIEA (au 01.01.07 : www.iaea.org).

maximum de 5 millions$-or (devenu irréaliste) à un minimum de 150 millions DTS (180 millions €), avec un financement public pouvant le compléter jusqu'à 300 millions DTS (360 millions €) (Lamm, 1998). Comme pour les Conventions AEN/OCDE, une exception de *phasing-in* est également prévue, limitant le plafond à 100 millions DTS pour 15 ans. Enfin, la règle de RC illimitée a été institutionnalisée et les cataclysmes naturels de caractère exceptionnel ont été retirés des motifs d'exonération. La seule distinction du Protocole de la Convention de Vienne par rapport aux révisions AEN/OCDE apparaît dans le fait qu'il introduit un ordre de priorité dans l'indemnisation des victimes, favorisant les demandes du fait de décès ou de dommages aux personnes (article 10 du Protocole).

Pour aller encore plus loin sur la voie d'un régime mondial de RCN, la même année, une troisième étape (non encore achevée) a été entreprise : la signature de la Convention *sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires*, dite Convention CRC ou "Convention-parapluie"[61], sous l'égide de l'AIEA, le 29 septembre 1997. Instrument juridique indépendant, son but est de définir des montants supplémentaires d'indemnisation, au-delà des sommes déjà prévues dans les Conventions. Elle a ainsi établi deux tranches additionnelles de risque. La première impose à un Etat contractant d'assurer la disponibilité d'au moins 300 millions DTS (360 millions €). La Convention CRC ne spécifie pas la manière dont l'Etat doit fournir ce montant. Il peut donc soit le prendre en charge lui-même sur fonds publics, soit le faire supporter par l'exploitant. Au-delà, la Convention CRC prévoit un fonds international s'élevant également à 300 millions DTS. Ce fonds doit être financé par les contributions des Etats selon un barème imposé par les Nations Unies, sur la base de leur capacité nucléaire installée, exprimée en unités de MW thermique. La moitié de ce fonds est réservée exclusivement aux dommages transfrontaliers. La Convention CRC est conforme aux principes (RC objective, canalisée et limitée) des autres Conventions et renforce encore leur vocation compensatoire. Elle est cependant novatrice car elle est ouverte à tous les Etats, indépendamment de leur appartenance aux Conventions de RCN existantes (McRae, 1998). Elle a aussi pour objectif d'attirer l'adhésion des pays non nucléarisés et des pays nucléarisés mais liés à aucun régime international de RCN, comme c'est le cas par exemple de grandes

[61] Le texte de la Convention CRC est disponible en ligne sur le site de l'AIEA (au 01.01.07 : www.iaea.org).

puissances comme le Japon ou les Etats-Unis[62]. Néanmoins, à ce jour, la Convention CRC n'est pas encore entrée en vigueur. Elle a uniquement été ratifiée par l'Argentine (2001), la Roumanie (1999) et le Maroc (1997), qui ne sont que très peu (pour les deux premiers) ou pas nucléarisés. Toutefois, les Etats-Unis ont voté une loi en septembre 2006 visant à la ratifier. Cet acte signerait une étape fondamentale en faisant entrer dans le régime international de RC la première puissance nucléaire mondiale. Cet acte pionnier devrait donc inciter les autres pays à rejoindre la Convention CRC.

En conclusion, les efforts de révision et d'harmonisation des Conventions ont orienté davantage les régimes de RCN vers une logique *ex ante*. C'est tout particulièrement par le relèvement de la limite financière à la RC de l'exploitant et la réduction de ses droits à exonérations que leur dimension incitative a été renforcée. Cependant, cette évolution reste lacunaire. En effet, la RC reste canalisée et limitée et le financement public a plus que doublé. La logique *ex post* du régime domine donc encore.

2.2.2. Des révisions insuffisantes : l'inadaptabilité dynamique

Malgré les améliorations des textes, la logique *ex ante* du régime reste insuffisante. Dès lors, les inefficacités persistent : l'internalisation des coûts du risque et les incitations à la prévention demeurent insuffisantes et l'industrie nucléaire reste favorisée (2.2.2.1). De plus, l'indemnisation, pourtant priorité du régime, n'est pas satisfaisante (2.2.2.2).

2.2.2.1. La persistance des inefficacités ex ante

Les Conventions de première génération révélaient deux types d'inefficacités : une dissuasion par la canalisation et une protection industrielle injustifiée. C'est pour pallier ces problèmes que le régime de RCN a été modifié. Or, ces inefficacités, bien que réduites, se retrouvent encore dans les Conventions de deuxième génération.

D'une part, le principe de canalisation reste inchangé. Ainsi, la RC des partenaires de l'exploitant nucléaire reste protégée et il demeure à lui seul de prendre en charge leur propre risque et de contrôler leur comportement. A cet égard, le régime de RCN révisé peine toujours

[62] Les lois nationales nucléaires signées par le Japon le 17 juin 1961 (loi n°147 "sur la réparation des dommages nucléaires" et loi n°148 "sur les conventions d'indemnisation relatives à la réparation des dommages nucléaires"), modifiées en 1971 et 1989, se conforment cependant aux principes des Conventions AEN/OCDE. Les exploitants des 55 réacteurs japonais sont en effet exclusivement et objectivement responsables en cas d'accident nucléaire. Néanmoins, leur RC est illimitée (AEN/OCDE, 2000b). Quant aux USA, ils ont un cadre juridique de RCN autonome, antérieur au régime AEN/OCDE, sur lequel nous reviendrons dans la section 3 de ce chapitre.

à fournir les incitations nécessaires à la prévention du risque et on retrouve l'effet d'*underdeterrence* étudié précédemment.

D'autre part, malgré le relèvement du plafond de RC de l'exploitant, sa RC reste limitée par rapport aux coûts d'un accident nucléaire. Il est vrai que ce relèvement est un pas significatif vers une plus grande internalisation. Néanmoins, celle-ci reste partielle, tant que tous les coûts du risque ne sont pas assumés par leur auteur. Ici encore, le régime est donc insuffisamment incitatif. Si des pays comme l'Allemagne ont ouvert la voie vers une RC illimitée, les autres pays ne montrent pas un grand enthousiasme à son égard. Pourquoi un tel désintérêt ? Pourquoi les gouvernements tiennent-ils à maintenir une limite à la RC de leurs exploitants ? Puisque l'argument de la protection de l'industrie naissante est désormais obsolète, quelle peut alors être sa justification actuelle ? Certains s'attachent à dire que la limite de RC est maintenue uniquement pour servir les intérêts d'une industrie *lobby*iste et (encore) protégée. C'est l'argument notamment avancé par Faure et Vanden Bergh (1990) et Radetzki et Radetzki (1997). Selon eux, le régime de RCN actuel favoriserait l'industrie en lui faisant bénéficier d'avantages particuliers, au premier rang desquels le plafond de RC.

Cet argument est séduisant tant il semble soulever la vraie question : la limite de RC révèle-elle une protection illégitime ? On peut aller plus loin encore : la protection ne se fait-elle pas en faveur de l'Etat lui-même ? Cette question trouve son fondement dans la remise en cause de l'argument des nouveaux investisseurs avancé par les rédacteurs des Conventions (p. 39). Selon eux, sans le plafond de RC, l'industrie nucléaire ne serait pas attractive pour les nouveaux investisseurs. Or, étant donné que dans beaucoup de pays l'exploitation nucléaire est propriété de l'Etat (France, Royaume-Uni, etc.), c'est l'Etat lui-même qui investit. Dans ce cas, la limite de RC allège la charge publique et l'Etat se protège lui-même, par l'intermédiaire de l'industrie. En outre, un défaut majeur persiste au regard de cette limite : elle ne fait l'objet d'aucune différenciation de risque. En effet, le plafond de RC établi par les Conventions est exprimé "par accident" et est le même pour tous les exploitants des Etats contractants, sans distinction relative au risque qu'ils génèrent individuellement. Or, ni le nombre de réacteurs qu'ils exploitent, ni leur puissance thermique n'est identique. De là, comment justifier que l'exploitant français qui exploite cinquante-huit réacteurs nucléaires soit soumis au même plafond de RC que l'exploitant belge qui n'en gère que sept ? Il est pourtant évident que le premier génère un risque d'accident plus élevé que le second[63]. Si un accident survient sur un premier réacteur et que la totalité du plafond est dépensée, on imagine aisément que la

[63] L'effet distorsif de cette non-différenciation est analysé dans le chapitre 4.

réparation d'un second accident la même année (même si elle reste très improbable) ne serait pas soutenable pour l'assureur. Or, plus le nombre de réacteurs exploités est élevé, plus le plafond devrait l'être car la probabilité de devoir réparer plusieurs accidents par an croit avec ce nombre[64]. Cette uniformisation du plafond de RC n'est donc pas pertinente avec la réalité du risque. Elle risque d'induire un défaut de prévention de la part de l'exploitant dont le parc nucléaire est large. A cet égard, il est étonnant que seule la troisième tranche de risque, financée conjointement par les Etats, soit reliée au risque. Il est regrettable que cette logique ne concerne pas les exploitants eux-mêmes.

Si le régime de RCN reste insuffisamment incitatif, il présente aussi un défaut *ex post*.

2.2.2.2. Un défaut d'indemnisation

Les montants d'indemnisation fournis par les Conventions de première et deuxième génération sont résumés dans le tableau suivant.

Régime de RCN	Convention	Source de financement	Première génération (actuellement en vigueur)	Deuxième génération
NEA/OCDE	Convention de Paris / Convention de Bruxelles	Exploitant nucléaire	5,8	700
		Etat	204,2	500
		Total national	*210*	*1200*
		Etats contractants	150	300
		Total NEA/OCDE (Europe)	*360*	*1500*
AIEA	Convention de Vienne	Exploitant nucléaire	4	180
		Etat	-	180
		Total national	*4*	*360*
AIEA	Convention CRC	Supplément national (Etat ou exploitant nucléaire)	-	360
		Supplément international (fond des Etats contractants)	-	360
		Supplément Total	-	*720*

Tableau 2. Les montants d'indemnisation prévus en cas d'accident nucléaire en 2007 (millions €)

Au niveau national, le montant actuellement disponible pour indemniser les victimes et réparer les dommages d'un accident nucléaire en Europe s'élève à 192 millions €. Avec la tranche internationale, ce montant augmente à 360 millions €. Avec les Protocoles de 2004, ces montants sont portés respectivement à 1200 millions € et 1500 millions €. La couverture totale d'un accident nucléaire a donc été multipliée par 4,5. Pourtant, bien que la vocation principale du régime de RCN soit d'ordre compensatoire, il ne répond toujours pas pleinement à ses propres exigences pour deux raisons. En premier lieu, c'est à nouveau la limite de RC de

[64] Ces différences technologiques ont un impact sur la sûreté. Cette dimension est analysée dans le chapitre 4.

l'exploitant nucléaire qui est remise en cause. En effet, bien que substantiellement relevée en 2004 pour le régime AEN/OCDE, cette limite représente moins de la moitié du montant total disponible avec les trois tranches de risque. Le financement public en représente, en revanche, 54%. En second lieu, même avec la tranche internationale, la couverture totale du risque est très basse, comparativement aux dommages que pourrait causer un nouveau "Tchernobyl"[65]. L'exploitant nucléaire n'indemniserait lui-même, dans un tel cas, qu'une part négligeable des dommages aux victimes et l'indemnisation publique serait loin d'être suffisante. Certes, si la Convention CRC venait à entrer en vigueur dans le futur, la couverture totale (1 milliard €) serait accrue. Mais qui paierait les dommages excédentaires ? Il est frappant de voir que mêmes les tranches de risque financées par les Etats font l'objet de plafonds. Au sens strict, cela signifie qu'au-delà de ces tranches, ils ne paieraient plus rien. Pourtant, on imagine aisément, notamment sous la pression publique, que c'est aux Etats que reviendrait *in fine* la réparation de tous les dommages excédant le plafond de l'exploitant. A qui d'autre sinon? En conséquence, le plafond de RC joue un rôle ambivalent : en deçà, il permet à l'Etat d'exposer l'exploitant à une part des réparations des dommages qu'il a causé ; au-delà, il lui permet de protéger l'exploitant de réparations trop importantes.

Pour conclure, le régime de RCN souffre d'une inefficacité statique et d'une inadaptabilité dynamique. Privilégiant une logique *ex post*, il ne parvient finalement ni à atteindre pleinement son objectif compensatoire ni à être suffisamment incitatif, même après révision. Nous avons vu que ces défauts sont tout particulièrement imputables à la limite de RC de l'exploitant et à la protection que lui fournit l'Etat à cet égard. Le financement de l'indemnisation des victimes se partage aujourd'hui entre fonds privés et fonds publics, avec une prépondérance des seconds. Ces frontières spécifiques entre l'Etat et le marché ont été établies au motif que l'industrie devait être soutenue dans son développement et que le risque nucléaire ne serait pas assurable autrement. Nous avons vu que le premier argument n'était plus justifié. Qu'en est-il du second ? L'objet de la deuxième section de ce chapitre est précisément d'étudier la pertinence de cet argument et de là, d'examiner la désirabilité des frontières actuelles entre l'Etat et le marché dans le financement de l'indemnisation des victimes.

[65] L'évaluation du coût de l'accident de Tchernobyl ne fait toujours pas l'objet, vingt ans après, d'un consensus. Les études l'estiment entre 40 milliards $ et 235 milliards $ (AEN/OCDE, 2006). Nous reviendrons sur les évaluations du coût d'un accident nucléaire, et plus généralement, sur la mesure du risque, dans la section 3.1. de ce chapitre.

3. L'assurabilité du risque nucléaire : à la frontière de l'Etat et du marché

Lors de la rédaction des Conventions de RCN, les rôles respectifs de l'Etat et du marché ont été délimités de manière à permettre l'assurabilité du risque nucléaire : la RC de l'exploitant devait être plafonnée et l'Etat devait l'assister dans l'indemnisation des victimes. Comme nous l'avons déjà mentionné, dans les années 1960, les assureurs étaient peu enclins à couvrir ce risque à la fois catastrophique et difficilement prévisible. Il fallait donc en restreindre le risque financier pour eux. Dès lors, la limitation de RC était considérée comme le prix à payer par les victimes en contrepartie de l'assurance obligatoire imposée aux exploitants (Faure et Vanden Bergh, 1990). Par l'établissement du plafond, les rédacteurs des Conventions ont donc trouvé une sorte de compromis entre assurabilité du risque et indemnisation des victimes. Du fait de ce schéma, et pour compléter l'indemnisation, l'intervention de l'Etat était alors rendue nécessaire. Sans cette intervention, la logique *ex post* du régime n'aurait plus été respectée. Mais qu'en est-il aujourd'hui de l'inassurabilité du risque nucléaire ? (3.1). Cet argument justifie-t-il encore la prégnance du financement étatique de l'indemnisation ? (3.2).

3.1. Le risque nucléaire : un risque inassurable ?

L'inassurabilité d'un risque passe d'abord par son identification. A cet égard, la définition, les origines et les manifestations du risque nucléaire ont déjà été présentées dans l'introduction générale. Néanmoins, elles ne sont pas suffisantes pour conclure sur le caractère assurable ou non du risque nucléaire. En effet, l'assurabilité d'un risque est intrinsèquement liée à sa capacité à être anticipé et quantifié. De là, deux questions supplémentaires doivent être examinées : en quoi le risque nucléaire est-il difficilement prévisible ? (3.1.1) Comment peut-on le mesurer ? (3.1.2). Ces questions essentielles sont traitées en premier lieu. Elles introduiront ainsi la question propre de l'inassurabilité du risque qui est analysée à l'aide des apports des théories économiques de l'assurance et de l'incertitude (3.1.3).

3.1.1. Un risque empreint d'incertitudes

Un risque est, par définition, un événement redouté. On rapproche communément l'événement "accident nucléaire" du *risque* plutôt que de l'*incertitude.* Or, rien n'est moins

évident. Tantôt qualifié de risque objectif ou subjectif, de risque observé, réel ou perçu, le risque nucléaire est un risque complexe qui n'est pas exempt de confusion. Comment parvenir alors à le qualifier précisément ? Les enseignements de la littérature économique sur le risque vont aider à cette tâche. Ils vont, en particulier, mettre en évidence, l'ambiguïté conceptuelle du "risque" nucléaire (3.1.1.1). Depuis cinquante ans, les efforts de recherche et développement ont permis d'avancer significativement dans la connaissance du risque nucléaire. Néanmoins, il reste empreint d'incertitudes exogènes et endogènes qui en renforcent la dimension imprévisible (3.1.1.2).

3.1.1.1. L'univers décisionnel de l'imprévisible : entre risque et incertitude

Face à une décision, l'individu doit prendre en considération un élément essentiel : son univers décisionnel. L'identification de cet univers est cruciale, tout autant pour le processus de décision que pour son résultat. Elle permet à l'individu de décider de manière éclairée et d'anticiper les risques éventuels de son choix. Pour ce faire, l'individu doit disposer des trois informations suivantes :

- l'ensemble des alternatives qui lui sont offertes pour atteindre son but. Cet ensemble est communément appelé le *champ des possibles* ou *états de la nature*,
- les *conséquences* correspondant à chaque alternative. Elles peuvent être négatives ou positives et sont mesurées en termes de désutilité (perte) ou d'utilité (gain),
- les *probabilités* attribuées à chacune de ces conséquences.

De là, l'univers décisionnel peut présenter trois configurations possibles (Godard, Michel-Kerjan et Lagadec, 2002) résumées dans le tableau suivant.

	Univers décisionnel *certain* ou *stabilisé*	Univers décisionnel *risqué*	Univers décisionnel *incertain* ou *controversé*
Champ des possibles	Connaissance parfaite	Connaissance parfaite	Connaissance imparfaite
Conséquences	Connaissance parfaite	Connaissance imparfaite	Connaissance imparfaite
Probabilités	= 1	< 1	Connaissance imparfaite

Tableau 3. Les trois configurations possibles d'un univers décisionnel

Si l'individu dispose d'informations certaines sur le champ des possibles et leurs conséquences et si les probabilités de ces conséquences sont unitaires, sa décision ne lui pose pas de problème particulier. Il choisit alors en fonction de ce qu'il estime lui-même être la meilleure option, en fonction de ses propres préférences. Il décide en situation d'information

parfaite et complète et on parle d'univers *certain* ou *stabilisé*. Il n'y a donc pas, par définition, de risque dans cette situation. Cependant, tous les univers décisionnels ne présentent pas autant de transparence. Les décisions se multipliant et se complexifiant avec les activités humaines, elles sont de plus en plus risquées. Ainsi, l'individu peut ne pas connaître avec certitude les conséquences de son choix. Dans ce cas, seuls le champ des possibles et les probabilités (alors inférieures à 1) sont connues. L'individu agit en univers *risqué* et l'événement redouté est alors considéré comme *avéré*. Plus complexe encore est la situation où l'individu ne connaît pas non plus les probabilités des conséquences de ses actions. Il bascule alors dans un univers *incertain* ou *controversé*. Cet univers est constitué d'événements *hypothétiques* pour lesquels les probabilités ne sont pas connues ou font encore l'objet d'une controverse scientifique (Godard, Michel-Kerjan et Lagadec, 2002). C'est le cas, par exemple, du réchauffement climatique. De manière générale, on peut représenter les différents univers décisionnels possibles sur un spectre dont l'ignorance[66] et la certitude en constituent les extrémités (Figure 5).

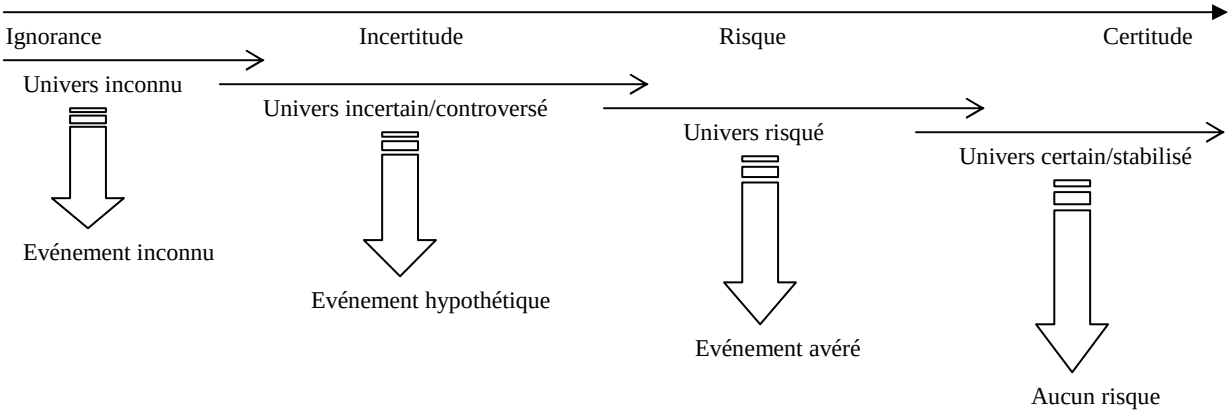


Figure 5. Les univers décisionnels : de l'ignorance à la certitude

A chaque type d'événement correspond donc un univers décisionnel. D'un point de vue conceptuel, risque et incertitude ont fait l'objet de multiples analyses. L'analyse s'appuie ici sur les travaux de Knight (1921) et de Keynes (1921, 1936, 1937).

Au sens de Knight, un risque se définit comme une incertitude mesurable, c'est-à-dire probabilisable. Il désigne alors une situation où les possibilités de l'avenir sont connues et prévisibles. Communément, la "mesure" d'un risque s'effectue sur la base du calcul de sa volatilité, c'est-à-dire par l'intermédiaire de la mesure de l'amplitude de ses variations (calcul de la variance, l'écart-type, l'entropie, etc.). Dans ce travail, la "mesure" du risque nucléaire

[66] Il est, en effet, des cas où le risque n'est ni connu ni prévisible et donc pour lesquels aucune précaution n'est faisable. Par conséquent, le risque ne sera connu qu'après la prise de décision qui fait alors office d'expérimentation. Ce type de risque concerne par exemple le risque de développement pour les nouveaux produits.

n'est pas entendue dans ce sens mais désigne la mesure de sa prévisibilité. Ainsi, dans le contexte knightien, la "mesure" du risque s'appuie sur des probabilités objectives qui sont soit des probabilités mathématiques, soit des probabilités fréquentistes[67]. D'après Knight (1921), le mot "risque" fait donc référence à une situation, où *"la distribution du résultat parmi un ensemble de cas est connue, soit par le calcul a priori, soit par des statistiques fondées sur les fréquences observées"* (p.233). Par opposition, Knight définit l'incertitude comme une situation où le champ des possibles et/ou ses conséquences ne sont pas connus du décideur. L'incertitude n'est donc pas, contrairement au risque, probabilisable. La prévision des possibilités de l'avenir ne peut être objective. Elle est alors effectuée de deux manières : soit le décideur les estime selon ses propres préférences, soit il affecte un degré de confiance à chaque événement. Dans ce second cas, le degré de confiance peut prendre la forme d'une probabilité subjective, d'une probabilité épistémique ou encore d'une croyance[68] (Knight, 1921; Moureau et Rivaud-Danset, 2004). Par rapport aux situations risquées, les situations d'incertitude sont donc singulières et inclassables, parce qu'elles mettent en jeu des éléments nouveaux dont l'individu ignore les propriétés (situations inédites) ou parce qu'elles sont mal structurées et complexes. Knight parle alors d'*incertitude radicale*.

Keynes proposait une distinction semblable entre "l'improbable" et "l'incertain" (Keynes, 1921, 1936, 1937). En 1921, il définit en effet le risque comme une situation dans laquelle on peut dresser la liste de toutes les éventualités (le champ des possibles) et leur attribuer des probabilités de réalisation, alors que l'incertitude ne vérifie pas l'une ou l'autre de ces conditions. Keynes reprend le concept de Knight d'"incertitude radicale" mais va plus loin en soulignant que, lorsque l'individu décide en univers incertain, aucune prévision n'est possible. Les situations de (vraie) incertitude auxquelles Keynes (1937) fait référence sont en effet les cas pour lesquels *"il n'y a pas de fondement scientifique sur lequel on puisse formuler, de façon autorisée, quelque raisonnement probabiliste que ce soit. Nous ne savons pas, tout simplement"* (p.114[69]).

---

[67] Les probabilités mathématiques sont calculées *a priori* à partir du ratio (nombre de cas favorables/nombre de cas total). Les probabilités fréquentistes sont calculées à partir d'informations statistiques induites de l'expérience sur l'observation d'un grand nombre de cas.

[68] Une probabilité subjective est une pondération que l'individu attribut à chaque événement en fonction de son vécu personnel, de son histoire et qui peut évoluer à mesure que ses connaissances s'améliorent. Une probabilité épistémique représente l'incertitude que l'individu a devant l'affirmation qu'un événement va se produire lorsqu'il ne dispose pas de la connaissance complète de ses circonstances et de ses causalités (Bayes, 1763 ; Condorcet, 1786). Quant à la croyance, elle traduit l'attitude de l'individu qui affirme, selon des degrés plus ou moins grands de possibilité, la vérité ou la réalité d'un événement, sans que cette affirmation ne soit validée par l'expérience ou la science (Ramsey, 1926).

[69] Traduction française de N. Jabko (1990, pp.144-145).

Que nous enseigne donc cette littérature ? Quelle conclusion pouvons nous en tirer pour l'événement "accident nucléaire" (appelé ici, par simplification, "risque" nucléaire) ? D'un côté, il correspond à la définition du risque au sens de Knight ou de Keynes car il présente des caractéristiques connues et reconnues par la communauté scientifique. D'un autre côté, il est empreint d'imprévisibilité qui le rapproche de la définition de l'incertitude radicale. Le "risque" nucléaire se situe donc à la croisée des deux concepts, aux confins de l'univers risqué et de l'univers incertain. Quelles sont alors ses sources d'incertitudes ?

3.1.1.2. Les incertitudes exogènes et endogènes au risque nucléaire

Malgré les avancées scientifiques en la matière, le risque nucléaire revêt encore une dimension imprévisible. Cette imprévisibilité est due au fait qu'il existe des incertitudes exogènes et endogènes au risque.

Les incertitudes exogènes au risque ont pour origine le manque de données historiques disponibles concernant les accidents nucléaires. Si de nombreux incidents nucléaires sans conséquence en dehors des centrales ont été constatés dans le monde depuis cinquante ans, en revanche, peu d'accidents provoquant des rejets radioactifs dans l'atmosphère, et touchant des tiers, ont été dénombrés. Au total, on compte seulement quatre accidents nucléaires significatifs dans l'histoire mondiale de la production d'énergie nucléaire civile (encadré 2).

Encadré 2. Les accidents nucléaires civils dans le monde

Par ordre croissant de gravité, on trouve :

- l'accident de la centrale de **Tokaimura** (Japon), le 30 septembre 1999 (niveau 4/7 sur l'échelle INES*). Cet accident était le résultat d'une erreur humaine de manipulation aboutissant à une quantité anormale d'uranium dans le réacteur, très supérieure à la valeur de criticité. Il a exposé plus de six cents riverains à des radiations importantes et tué deux ouvriers de la centrale.
- l'accident de la centrale de **Windscale** (Grande-Bretagne), survenu le 7 octobre 1957 (niveau 5/7) et déclenché par un incendie sur le réacteur. Immédiatement soumis à une surveillance très stricte, l'environnement et la population ont été peu touchés. Sur les 238 personnes examinées à l'extérieur, 126 ont été légèrement contaminées au niveau de la thyroïde, ainsi que 110 travailleurs de la centrale.
- l'accident de **Three Mile Island** (Etats-Unis), le 28 mars 1979 (niveau 5/7) au cours duquel le réacteur TMI-2 a fondu et des gaz radioactifs ont été rejetés en grande quantité, suite à divers dysfonctionnements matériels et humains. Cet accident ne dénombre cependant aucune victime ni aucun dommage environnemental.
- l'accident de la centrale de **Tchernobyl** (Ukraine), le 26 avril 1986 (niveau 7/7), le plus grave qui n'est jamais été constaté dans l'histoire. A l'occasion de son vingtième anniversaire, de nombreux débats ont resurgi, en particulier sur le nombre réel de victimes et le coût global de l'accident. Ses causes sont désormais admises comme étant matérielles (instabilité du réacteur, absence de barrière confinement) et humaines (violations des consignes de sûreté). L'emballement du cœur du réacteur a précédé la libération de près de 10% de sa radioactivité. Selon le bilan officiel, deux agents ont été tués sur le coup, deux cents personnes gravement irradiées et trente-deux sont décédées dans les trois mois qui suivirent (Mandil, 1996). Néanmoins, les diverses évaluations menées depuis vingt ans suggèrent que le nombre de victimes serait bien plus élevé (environ 16000), notamment si on prend en compte les effets indirects, latents et transfrontaliers (Benett, Repacholi et Carr, 2006 ; Fairlie et Sumner, 2006 ; Cardis *et alii*, 2006). Quant aux conséquences matérielles et environnementales, elles ont aussi été très graves. De nombreuses habitations ont été détruites et beaucoup de bâtiments, ainsi que les sols agricoles et les eaux de surface sont encore contaminés. L'écosystème local est aussi encore très perturbé (IAEA *et alii*, 2003-2004 ; IAEA, 2006).

Pour ce qui est de la France, l'accident le plus grave répertorié est celui, de niveau 4, de la centrale nucléaire de Saint-Laurent (Loir-et-Cher), du 13 mars 1980. Cet accident a été causé par des défaillances matérielles qui ont empêché le bon refroidissement du réacteur et ont ainsi provoqué la fusion des combustibles. Gravement endommagé, le réacteur a été indisponible pendant plus de deux ans mais sa fusion n'a eu aucune conséquence sanitaire ou environnementale.

**L' échelle INES (International Nuclear Event Scale) est une échelle de gravité des événements nucléaires créée par l'AIEA en 1991. Pour plus d'informations, se reporter à l'encadré4 (chapitre 2, p. 169).*

D'un point de vue sanitaire, ce manque de données est évidemment satisfaisant. Mais il a des effets négatifs sur la connaissance du risque. Ayant peu de données, les experts ne peuvent induire de l'expérience des valeurs statistiques, qui aideraient à l'appréhension du risque. Lagadec (2006) résume ce type de situation en disant *"les moyennes, les régulateurs statistiques, les enseignements historiques ne sont plus des points d'ancrage pertinents. L'aberrant, la singularité, l'exceptionnel deviennent des opérateurs essentiels"* (p.132).

Les incertitudes endogènes au risque nucléaire sont de deux types.

Le premier type d'incertitude endogène concerne les causes physiques et humaines qui peuvent provoquer un accident nucléaire. Ces différentes causes ont été présentées dans l'introduction générale. Un accident nucléaire peut avoir pour origine un facteur externe (catastrophe naturelle, attaque terroriste, erreur humaine) ou un facteur interne (fusion du cœur du réacteur[70], rupture de l'enceinte de confinement) à la centrale. Parmi eux, certains ne sont difficilement prévisibles comme les facteurs externes naturels ou le terrorisme. En revanche, l'erreur humaine et les origines internes font l'objet, depuis plusieurs années, d'évaluations rigoureuses. En dépit du défaut de données historiques, les experts ont donc en partie domestiqué ces incertitudes en parvenant, par exemple, à donner une estimation de la probabilité de fusion du cœur d'un réacteur ou d'une erreur humaine. L'élément le plus intéressant est que ces évaluations ont aussi permis de différencier, à l'aide de probabilités, les accidents nucléaires qui provoquent ou non des rejets radioactifs à l'extérieur de la centrale. De là, la distinction a pu aussi être faite entre les accidents susceptibles de causer ou non des dommages aux tiers et donc d'impliquer ou de décharger la RC de l'exploitant. Les probabilités permettant cette différenciation sont appelées "probabilités conditionnelles"[71]. Elles proviennent évidemment très peu de l'expérience et sont déduites de modélisations élaborées en laboratoires depuis les années 1960[72].

Le second type d'incertitude endogène concerne uniquement les accidents causant des dommages à l'extérieur de la centrale. L'incertitude est alors relative aux effets sanitaires et épidémiologiques subis par les tiers. Ces effets peuvent être classés en deux catégories : les effets déterministes et les effets stochastiques. Les premiers surviennent de façon précoce après l'exposition radioactive (cataracte, brûlure, décès). Ces effets sont systématiques c'est-à-dire certains. Pour tout être humain, au-dessus d'un certain seuil d'exposition correspond un effet donné. La connaissance de cette relation dose-effet est très utile pour les médecins : dans

[70] La fusion du cœur d'un réacteur nucléaire se définit comme la surchauffe (ou l'emballement) de la matière en fission dans le réacteur.
[71] Ces probabilités ont une importance particulière pour les chapitres suivants.
[72] Les résultats de ces modélisations sont présentés dans le paragraphe suivant.

les heures qui suivent un accident, le niveau d'exposition du patient n'est en général pas connu et c'est l'observation des signes cliniques précoces qui va indiquer la dose reçue et orienter le diagnostic[73]. Par opposition, les effets stochastiques obéissent aux lois du hasard. Ils apparaissent de façon aléatoire parmi les individus d'une population exposée et parfois même tardivement (quelques années ou dizaines d'années après l'exposition). Leurs manifestations sont aussi plus graves (leucémies, cancers, maladies héréditaires). Il y a alors deux difficultés : d'une part, dans une population exposée, les experts ne peuvent pas prédire qui sera atteint par tel ou tel effet. Il n'existe pas à l'heure actuelle de marquage génétique qui permettrait de définir les personnes susceptibles d'être affectées. D'autre part, lorsque des cancers sont déclarés, ils peuvent difficilement distinguer les cancers radio-induits des cancers "naturels". En outre, des incertitudes demeurent quant au niveau des doses à partir duquel les effets stochastiques peuvent survenir[74]. Ainsi, si les effets déterministes d'un accident nucléaire sont aujourd'hui, bien connus des experts scientifiques, les effets stochastiques restent incertains. A cet égard, il est montré dans le chapitre 2 que, pour parer à ces effets stochastiques, la réglementation de sûreté nucléaire adopte une démarche conforme au principe de précaution.

Depuis les années 1960, la recherche sur le risque nucléaire a beaucoup progressé. Certains aspects de ce risque ne sont pas encore pleinement maîtrisés mais ils ne sont pas pour autant inconnus. En conséquence, bien que difficilement probabilisables, les incertitudes qui demeurent ne sont pas radicales au sens de Keynes. On retrouve ici l'ambiguïté conceptuelle du *risque* nucléaire. Face à ces incertitudes, comment alors mesurer le risque ?

3.1.2. La mesure du risque nucléaire

Etant donné ses incertitudes, l'évaluation du risque nucléaire ne peut présenter de caractère théorique et général. Cependant, grâce aux études menées dans plusieurs pays, il est désormais possible d'évaluer ce risque. Puisque l'intérêt se porte ici sur les accidents nucléaires pouvant causer des dommages aux tiers, trois éléments doivent être évalués :

[73] Ces doses se mesurent en *sieverts* (Sv), du nom de Rolf Sievert physicien suédois qui a donné son nom à cette unité. Le sievert est l'unité légale qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée. L'homme.Sv mesure cet effet pour des doses collectives. A titre indicatif, 1 Sv = 100 Rem = 1 joule/kg). Le sievert a remplacé le Rem ("*Röntgen Equivalent Man*") en 1965.

[74] Les observations permettent, actuellement, d'établir une relation statistique entre l'exposition aux rayonnements ionisants et la probabilité d'apparition d'un cancer pour des expositions supérieures à 0,2 Sv (Mandil, 1996). En dessous, il n'a pas été détecté d'effet radio-induit. Ce type de relations linéaires, également établie pour l'exposition aux rayonnements des travailleurs des centrales, est néanmoins sujette à débat parmi les scientifiques.

▪la probabilité qu'un accident se produise dans une centrale nucléaire (représentée par la probabilité de fusion du cœur du réacteur),

▪la probabilité que cet accident affecte les tiers (probabilité *conditionnelle*)

▪le coût global de l'accident en termes matériels et humains.

Les deux premiers éléments relèvent de la mesure *ex ante* du risque (3.1.2.1) et le troisième de sa mesure *ex post* (3.1.2.2).

3.1.2.1. La mesure ex ante *du risque nucléaire : entre approches déterministe et probabiliste*

Nous rappelons que, dans ce travail, la "mesure" du risque nucléaire n'est pas entendue dans le sens de la mesure de sa volatilité mais désigne la mesure de sa prévisibilité. Les méthodes de mesure *ex ante* du risque nucléaire ont pour objectif d'estimer la probabilité de survenance d'un accident nucléaire. Elles reviennent à évaluer la sûreté des centrales. Ces méthodes ont évolué dans le temps. Jusque dans les années 1990, l'évaluation de la sûreté des centrales était presque exclusivement basée sur une approche déterministe. Cette approche consistait à définir une liste d'événements initiateurs d'accident[75] pour chacun desquels une "situation redoutée" (fusion du cœur du réacteur, rejet hors de l'enceinte de confinement) était déterminée. A chacun d'eux était attribuée un ensemble propre d'interventions de sûreté pour arrêter la progression de l'accident. De là, des arbres d'événements étaient établis[76] (appelés aussi scénarios ou arbres de défaillances) en fonction du résultat des interventions. A l'origine, les règles de sûreté étaient fondées sur ce schéma et n'étaient considérés que deux résultats possibles : le succès ou l'échec des interventions.

La réalité étant plus complexe, les autorités de sûreté ont peu à peu complété l'approche déterministe par une approche probabiliste. Cette approche a fait l'objet de plusieurs études dans le monde, dites Etudes Probabilistes de Sûreté (EPS) ou *Probability Risk Assessments* (PRA). La Figure 6 représente un arbre d'événements type d'une EPS.

[75] Un événement initiateur (perte de réfrigérant, perte d'alimentation électrique…etc) est un événement qui perturbe le fonctionnement normal de la centrale nucléaire, conduisant à une dérive de certains paramètres de la centrale (pression, température, réactivité…menant à la fusion du cœur du réacteur) à partir duquel une séquence accidentelle peut se développer (Kalalo et Brenot, 2003).

[76] La méthode des arbres d'événements est une méthode inductive consistant à envisager, de manière systématique, pour un événement initiateur, le succès ou l'échec des systèmes et actions de conduite mis en œuvre pour arrêter la progression d'un accident (Kalalo et Brenot, 2003).

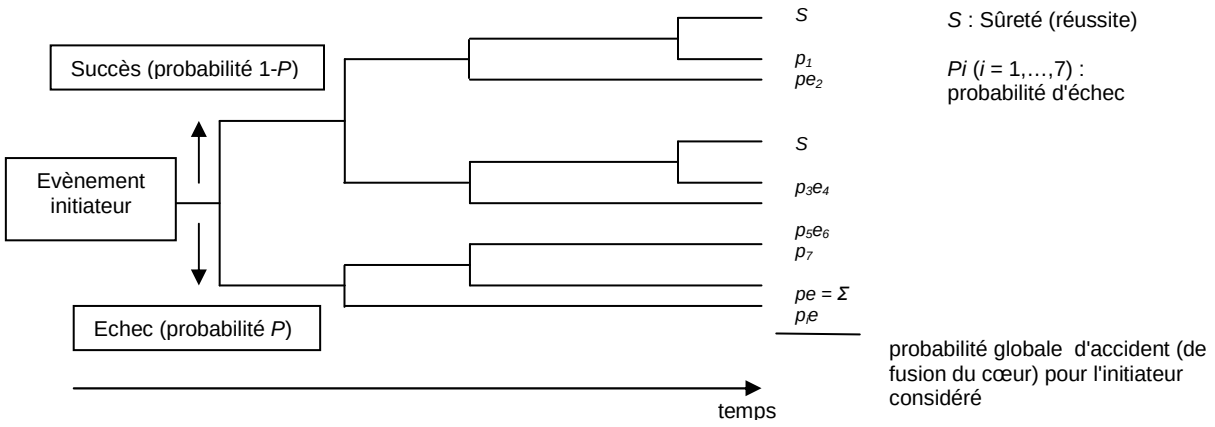


Figure 6. Arbre d'événements type d'une EPS (Source : Kalalo et Brenot, 2003)

"Imaginer le pire pour mieux prévenir. Tels sont (…) l'objet et l'objectif d'une EPS" (Brisbois *et alii*, 1990, p.524). Tous les pays produisant de l'énergie nucléaire ont réalisé au moins une EPS. Elles sont traditionnellement élaborées par les exploitants eux-mêmes pour chaque type de réacteur et ensuite examinées par les autorités de sûreté. Les EPS considèrent que la probabilité globale de succès ou d'échec d'une séquence d'interventions de sûreté doit être évaluée à partir de la probabilité de succès (1- $\boldsymbol{p}_i$) ou d'échec ($\boldsymbol{p}_i$) de chaque intervention le long de l'arbre d'événements. Ainsi, une probabilité d'échec *Pi* est associée à chaque branche de l'arbre d'événements et $\boldsymbol{p}$ est la probabilité globale d'échec pour l'événement initiateur considéré, c'est-à-dire la probabilité d'accident (ou probabilité de rejet s'il s'agit d'étudier les rejets associés à l'accident). *"L'utilisation des EPS est devenue courante (depuis 1990) pour conforter ou compléter les analyses de sûreté déterministes classiques grâce à leur méthode particulière d'investigation"* (Pichereau, 2003, p.7). Il existe 3 niveaux d'EPS :

(1) Une EPS de niveau 1 permet d'identifier les séquences menant à la fusion du cœur du réacteur et de déterminer les probabilités $\boldsymbol{p}_i$. Ces EPS prennent en compte les facteurs matériels et humains[77] d'accident, y compris certaines agressions internes comme l'incendie ou l'inondation, ainsi que les facteurs d'incertitude (Heyes, 2005). Les agressions externes sont retenues de manière sélective et différemment selon les pays. Beaucoup retiennent les séismes. Les études américaines et coréennes considèrent aussi les tornades et les vents violents et les études finlandaises les températures extrêmes (Lanore, 2003). Dans le cadre de

[77] L'analyse des causes humaines d'accident fait l'objet d'une évaluation spécifique. Depuis les années 1980, à travers son Evaluation Probabiliste de la Fiabilité Humaine (EPFH), EDF a développé ce type d'évaluation, basée sur les travaux d'Alan Swain des laboratoires Sandia. Aujourd'hui, EDF ainsi que la NRC aux USA, contribuent à améliorer ce type d'évaluation par la conception de méthodes (respectivement MERMOS et ATHEANA) d'analyse de la conduite après la survenue de l'initiateur. Pour plus de détails sur ce type de méthode, voir Le Bot (2003)

l'UE, des travaux sont menés afin d'harmoniser les exigences de sûreté des EPS[78]. En France, les dernières EPS de niveau 1 ont été menées conjointement par l'IRSN et EDF en 1990 et ont été réalisées sur des REP (Réacteurs à Eau Pressurisée) de 900MW et 1300MW. On les connaît respectivement sous les dénominations d'EPS 900 et EPS 1300 (IRSN/EDF, 1990). Les probabilités de fusion du coeur obtenues dans les EPS des différents pays s'échelonnent entre $3{,}7.10^{-6}$ et $3{,}4.10^{-4}$ /réacteur/an[79] (Schieber et Schneider, 2002). On retient généralement trois valeurs dans cet intervalle $\boldsymbol{p_i} = (10^{-6} ; 10^{-5} ; 10^{-4})$ par réacteur par an, $\boldsymbol{i}$=1,…,3. La différence entre ces trois valeurs s'explique par les différences de sûreté des réacteurs. La première valeur concerne surtout les réacteurs nucléaires de troisième génération (nouveaux réacteurs) comme le réacteur franco-allemand EPR (*European Pressurized Reactor*) actuellement en construction en Normandie (Flamanville) et en Finlande. Ces réacteurs bénéficient d'améliorations substantielles en matière de sûreté. Les deux probabilités suivantes concernent les réacteurs de première et deuxième génération.

(2) Une EPS de niveau 2 permet d'évaluer, à partir des EPS de niveau 1, la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement. Plus approfondie et plus complète, de cette EPS débouche une évaluation des probabilités conditionnelles de rejets. La première EPS élaborée dans le monde a été l'étude WASH-1400 dirigée par Rasmussen en 1975 sur un réacteur nucléaire américain, à la demande de la NRC[80]. Les EPS de niveau 2 qui font référence aujourd'hui sont l'EPS NRC de 1990 et l'EPS AEN/OCDE de 1994. Pour calculer les probabilités conditionnelles, ces EPS ont défini 4 scénarios, à partir des scénarios de fusion du cœur d'un réacteur. Ces scénarios sont appelés "termes sources" (ST) et correspondent chacun à des rejets radioactifs plus ou moins graves dans l'atmosphère[81]. Quant aux probabilités conditionnelles affectées à chacun d'eux, l'EPS NRC (1990), la plus aboutie en la matière, fournit seulement deux valeurs. Comme le montre le Tableau 4, 0,81 est la probabilité qu'après la fusion du coeur, l'enceinte de confinement soit

[78] C'est l'association européenne WENRA, créée en 1999, qui est en charge de ces travaux. Elle rassemblait à l'origine uniquement les Autorités de sûreté nucléaire d'Europe occidentale (Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse). Depuis mars 2003, les pays d'Europe centrale et orientale nouveaux membres de l'UE (Bulgarie, République tchèque, Hongrie, Lituanie, Roumanie, Slovaquie, Slovénie) sont officiellement membres de WENRA.

[79] Les valeurs de l'EPS française de 1990 sont de $4{,}95.10^{-5}$ pour un réacteur de 900 MW et de $1{,}08.10^{-5}$ pour un réacteur de 1300 MW. Des EPS plus récentes ont été réalisées mais aucune ne fait encore l'objet de publication officielle. L'unité "par réacteur par an" se trouve aussi souvent formulée comme une "année réacteur".

[80] La NRC est l'agence fédérale américaine responsable de la réglementation en matière de sûreté nucléaire.

[81] Parmi les hypothèses retenues pour ces scénarios, notons que les rejets sont supposés intervenir deux heures après la fusion du coeur et que leur durée est d'une heure. Les calculs ont été effectués pour un réacteur de référence de 1250MW.

très peu endommagée (scénario alternatif ST23, soit huit cas sur dix) et 0,19 la probabilité qu'après la fusion du coeur l'enceinte de confinement soit significativement rompue (scénarios exclusifs ST2, ST21 et ST22, soit deux cas sur dix)[82]. Cette seconde probabilité conditionnelle correspond aux accidents majeurs.

	Termes sources ST	Probabilité de fusion du cœur du réacteur (/réacteur /an)	Probabilité conditionnelle (probabilité de rejets) (/réacteur /an)	Quantité rejetée de gaz rares (hélium, néon, argon, krypton, xénon et radon)	Quantité rejetée d'éléments les plus volatiles (césium, iode, strontium)
Accident de faible ampleur	ST23	(10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4})	0,81	0,1%	0,01%
Accidents majeurs	ST22	(10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4})	0,19	1%	0,1%
	ST21	(10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4})	0,19	10%	1%
	ST2	(10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4})	0,19	100%	10%

Tableau 4. Scénarios de référence pour l'évaluation des probabilités d'accident avec rejets

(3) une EPS de niveau 3 permet d'évaluer, à partir des précédentes, les fréquences des conséquences des rejets sur la population et l'environnement (en termes de doses, de contamination, de cancers ou autres), en considérant notamment les phénomènes de dispersion atmosphérique, les conditions météorologiques et les plans d'urgence. Les EPS de niveau 3 mesurent les effets sanitaires déterministes et stochastiques présentés plus haut. Ces EPS restent encore très rares.

Bien que leurs résultats ne soient pas induits de l'expérience, les EPS sont aujourd'hui incontournables pour mesurer le risque nucléaire. Elles sont utilisées pour les réexamens de sûreté des centrales ainsi que pour la conception de nouveaux réacteurs. Elles servent également de base pour évaluer les coûts externes d'un accident nucléaire[83]. La mesure du risque doit ensuite être complétée par l'évaluation du coût global d'un accident nucléaire.

3.1.2.2. La mesure ex post *du risque nucléaire : le coût d'un accident*

Bien que la sûreté des centrales soit sans cesse améliorée par les mesures *ex ante* du risque nucléaire, le risque zéro n'existe pas. Aussi, les méthodes d'évaluation *ex post* du risque nucléaire ont-elles pour objectif d'estimer le coût des dommages d'un accident nucléaire en

[82] Eu égard aux incertitudes mentionnées plus haut, les EPS ne parviennent pas encore à différencier les probabilités conditionnelles entre les trois scénarios exclusifs. Par conséquent, ces probabilités ne sont pas continues. Dans le Tableau 4, il faut alors prendre l'un des trois derniers scénarios et le premier pour avoir une probabilité conditionnelle égale à 1. Nous reviendrons sur les conséquences de cette discontinuité dans le chapitre 2.

[83] Ces évaluations sont présentées dans le chapitre 2.

vue de leur réparation. Une fois est coutume lorsqu'il s'agit de risque nucléaire, l'évaluation de ce coût est complexe. Quels sont les éléments constitutifs du coût d'un accident nucléaire ? Les études retenues sont les études ExternE (Dreicer *et alii*, 1995 ; CE, 1995 ; Spadaro et Rabl, 1998) et les rapports du CEPN (Schieber et Benhamou, 1999 ; Le Dars et Schneider, 2002 ; Schieber et Schneider, 2002), de l'IRSN (Quéniard, 1992), Charpin *et alii* (2000), AEN/OCDE (2000a) et de la DGEMP (2003). Ces études retiennent deux types de coûts : les coûts directs et les coûts indirects. Reprendre les détails des évaluations de ces coûts n'est pas l'objet de ce travail. Les différentes catégories de dommages nucléaires ayant été présentées dans l'introduction générale, un exposé synthétique de ces évaluations sera suffisant pour en saisir le contenu global.

D'une part, les coûts directs d'un accident nucléaire sont composés du coût des contre-mesures et du coût des dommages matériels et sanitaires. Les contre-mesures sont des dispositions de court et moyen terme prises immédiatement après l'accident (évacuation des populations locales, décontamination des denrées agricoles, des sols et des habitations). Ces contre-mesures sont difficiles à mettre en œuvre. Elles impliquent la mobilisation de nombreux secteurs tels que le logement (hébergement d'urgence), le transport, la restauration et la mise en place d'actions rapides (stockage ou destruction des denrées contaminées, opérations de nettoyage). Concernant les dommages matériels, leur quantification est assez facile. Elle se base sur l'évaluation monétaire des biens détruits ou endommagés (à partir d'expertises assurancielles ou de l'observation de l'indice des prix immobiliers). En revanche, l'évaluation des dommages sanitaires est plus complexe. En effet, s'ils sont latents et/ou héréditaires, il est très difficile pour la victime d'établir un lien de causalité entre l'accident et son préjudice pour obtenir réparation. Dans le calcul du coût d'un accident, la prise en compte des coûts sanitaires de long terme se traduit par l'utilisation d'un taux d'actualisation. Le taux moyen retenu dans les études est en moyenne de 5%[84]. En outre, comme dans d'autres domaines, l'évaluation du préjudice moral subit par les victimes ou leurs proches est délicate (Schieber et Schneider, 2002). Il s'agit en effet d'un coût non monétaire dont le montant est déterminé sur la base d'un calcul fondé sur la valeur de la vie humaine. Or, ce procédé est sujet à controverses[85].

[84] Les rapports Bataille et Galley (1998, 1999) retiennent un taux de 5%, le rapport Charpin-Dessus-Pellat (2000) un taux de 6%, le Commissariat Général au Plan français un taux de 4% (Lebègue, Hirtzman et Baumstark, 2005), Le Dars et Schneider (2002) ainsi que ExternE des taux de 3% et 10%.

[85] Présenter l'état du débat n'est pas l'objectif ici. Les méthodes d'évaluation de la vie humaine sont essentiellement les méthodes de consentement à payer (Méthodes hédonistes et Evaluation conditionnelle) et les méthodes basées sur les évaluations de coûts. Pour plus de détails, se reporter entre autres à Dublin et Lotka (1930), Abraham et Thédié (1960), Sauvy (1978), Erlich (2000) et Martin (2003).

D'autre part, les coûts indirects d'un accident nucléaire sont de deux catégories : ceux subis par les victimes locales et ceux supportés par l'économie dans son ensemble. Concernant la première catégorie, il s'agit d'intégrer dans le calcul des coûts indirects tels que le coût des soins médicaux ou la perte de revenu subie par les victimes pendant leur convalescence. La seconde catégorie comprend l'ensemble des coûts subis par la société : perturbations de l'activité économique, de l'emploi, impact sur les recettes et dépenses de l'Etat, effet sur l'industrie touristique et la balance des paiements, perte de valeur ajoutée, etc. D'après le rapport AEN/OCDE (2000a), la prise en compte des coûts indirects augmenterait le coût total d'un accident d'un facteur 1,25. Il existe aussi un débat concernant l'intégration de l'aversion au risque[86] dans le calcul, ce qui alourdirait encore le coût d'un accident (Schieber et Schneider, 2002). Traditionnellement, la démarche probabiliste ne retient pas cet élément. Néanmoins, des développements complémentaires ont été menés dans ce sens (Markandya *et alii*, 1998 ; Eeckhoudt *et alii*, 2000).

Quels sont alors les résultats ces évaluations ? Qu'ils soient directs ou indirects, ces coûts sont évalués selon les scénarios déjà mentionnés et calculés à l'aide de différents modèles[87]. Les résultats dépendent donc fortement de leurs hypothèses (horizon temporel, étendue géographique, intégration des coûts indirects, d'un coefficient d'aversion au risque, niveau des rejets…). Contrairement aux EPS qui sont relativement consensuelles sur la mesure *ex ante* du risque nucléaire, les évaluations du coût d'un accident nucléaire sont très dispersées. Même l'évaluation du coût de l'accident de Tchernobyl, pourtant non hypothétique, pose encore problème[88]. En règle générale, les études situent aujourd'hui le coût d'un accident nucléaire ayant des conséquences significatives sur les tiers (considéré alors comme accident majeur) dans un intervalle compris entre 10 milliards € et 100 milliards €.

Le risque nucléaire présente donc une ambiguïté conceptuelle qui le situe à la croisée de l'incertitude probabilisable et de l'incertitude radicale. L'identification des sources d'incertitude et de la mesure du risque nucléaire était nécessaire pour poursuivre l'analyse entamée dans cette section, et juger de son inassurabilité.

[86] L'aversion au risque est définie dans la section 3.1.3.1 plus loin.
[87] Il s'agit de modèles informatiques appelés "codes". On trouve par exemple les codes COSYMA pour ExternE, RODOS pour la CE et MACSS pour les USA. Pour plus d'informations, voir Proult et Desaigues (1993), Ehrhardt *et aliiet alii*. (1993) et Schieber et Benhamou (1999).
[88] Les problèmes sont essentiellement liés à la prise en compte des dommages de long terme et des dommages héréditaires dont le lien causal avec l'accident est difficile à démontrer. Voir plus haut note 65.

3.1.3. L'assurabilité d'un risque : principes et critères

L'assurabilité d'un risque désigne sa capacité à être assuré, c'est-à-dire pris en charge sur le marché de l'assurance. Quels sont les principes traditionnels de l'assurance ? (3.1.3.1) Quels critères un risque doit-il satisfaire pour être assurable ? Comment le risque nucléaire se positionne-t-il au regard de ces critères ? (3.1.3.2).

3.1.3.1. Les principes traditionnels de l'assurance

Si la littérature fait état de l'apparition des premières formes d'assurance sous l'ère babylonienne, elle s'est surtout développée au XVIème siècle avec l'essor du commerce et du transport maritime, et bien plus encore au XXème siècle, avec la multiplication des assurances obligatoires. L'assurance se définit comme un *"contrat par lequel un assureur garantit à l'assuré, moyennant une prime ou une cotisation, le paiement d'une somme convenue en cas de réalisation d'un risque déterminé"* (Godard *et alii*, 2002, p.376). L'assurance se fonde donc sur trois piliers : 1) le transfert du risque ; 2) le paiement par l'assuré d'une prime; 3) l'engagement de l'assureur à payer les dommages en cas d'accident. Comme le montre le Tableau 5, il existe deux types de contrats classiques d'assurance : les contrats d'assurance "vie" qui couvrent l'assuré (sa personne et/ou ses proches) contre les risques décès, retraite, épargne et les contrats d'assurance "non vie" qui le couvrent (lui et/ou ses biens) contre un dommage qu'il subit (assurance-dommages et assurance santé) ou qu'il fait subir à un tiers (assurance-RC).

<table>
<tr><th colspan="3">Assurance "non vie"</th><th>Assurance "vie"</th></tr>
<tr><td>Assurance-dommages
(biens appartenant à l'assuré)</td><td>Assurance-RC
(assuré envers les tiers)</td><td>Assurance santé
(accidents, maladie, invalidité, incapacité, frais médicaux)</td><td>Assurance vie
(vie, décès, épargne, retraite...)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Assurance IARDT (Incendie, Accidents, Risque Divers, Transport)</td><td colspan="2">Assurance de personnes</td></tr>
</table>

Tableau 5. Les différents types de contrats d'assurance

Le principe de l'assurance peut être résumé comme suit : *"when a risk is insured, it is sold, at a negative price, to a third party, the insurer"*[89] (Skogh, 1990, p.727) L'assurance est donc caractérisée par l'inversion du cycle de production : l'individu paie aujourd'hui pour un produit dont il ne connaîtra la valeur qu'à la fin de la période couverte par le contrat. Si le

[89] *"Quand un risque est assuré, il est vendu, à un prix négatif, à une tierce partie, l'assureur".*

risque se réalise pendant la période d'exécution du contrat, l'individu est gagnant (en supposant que le coût du dommage soit supérieur à sa prime d'assurance) et la valeur du produit acquis positive. Si l'échéance du contrat arrive à son terme sans que le risque ne se soit réalisé, la prime payée par l'assuré est perdue et la valeur de son produit est négative.

Qu'est-ce qui motive la demande d'assurance ? La demande d'assurance peut d'abord émaner d'une contrainte légale. C'est le cas aujourd'hui de nombreuses assurances obligatoires comme l'assurance habitation (contre les risques d'incendie, d'inondation et de tempêtes) ou l'assurance automobile en France. C'est par ailleurs aussi le cas, nous l'avons vu, de l'assurance-RC des exploitants nucléaires soumis aux Conventions de RCN. Mais la demande d'assurance peut également être libre et volontaire. Elle est un instrument attractif car elle permet à l'individu de se libérer de charges potentiellement très lourdes tout en répondant à son aversion ou au risque ou à l'ambiguïté. L'aversion au risque est un comportement bien connu de la littérature économique depuis Bernoulli (1738) (Pratt, 1964 ; Arrow, 1965). Elle signifie que l'individu préfère la certitude d'une petite perte à une grande perte aléatoire. Dans un contrat d'assurance, cette perte sûre est la prime payée par l'assuré pour éviter de devoir réparer des dommages aléatoires certes, mais potentiellement élevés. L'aversion au risque traduit un sentiment subjectif de crainte face à l'incertain. Plus un individu est averse au risque, plus son consentement à payer dans le cadre d'un contrat d'assurance sera important. Quant à l'aversion à l'ambiguïté, elle est intrinsèquement liée à la première mais décrit plus précisément une attitude de préférence pour les risques connus par rapport aux risques inconnus (Ellsberg, 1961; Hogarth et Kunreuther, 1985, Gilboa, 1987 ; Kunreuther *et alii*, 1993). Concernant les risques catastrophiques, la demande d'assurance individuelle (directe) est souvent très faible, pour trois raisons. Tout d'abord, parce que les dommages corporels sont, dans beaucoup de pays européens, largement pris en charge par les systèmes de sécurité sociale (Faure, 2007a). Ensuite, il semblerait que les individus manifestent peu d'aversion à l'égard des dommages matériels causés par les risques catastrophiques, à cause d'un défaut d'appréciation et d'information (Slovic *et alii*, 1977 ; Schoemaker et Kunreuther, 1979 ; Slovic, 2000). Enfin, globalement, pour ce type de risque, la population compterait davantage sur une aide étatique que sur l'assurance pour réparer les dommages (Epstein, 1996 ; Harrington, 2000). Godard *et alii* (2002) parle, à cet égard, de "risque charité" pour désigner la tendance des individus à ne pas se couvrir par l'achat d'une assurance puisqu'ils comptent sur *"la charité des programmes d'indemnisation gouvernementaux"* (p.437). Ce sont, entre autres, les raisons pour lesquelles il n'y a pas de demande significative d'assurance directe

contre le risque nucléaire des victimes potentielles. C'est donc à l'exploitant de le prendre en charge.

De là, comment l'offre répond-elle à la demande d'assurance ? L'un des principes de base de l'assurance est la mutualisation, c'est-à-dire le transfert redistributif du risque au sein d'une communauté, tel que défini par J. Marshall (1974). La mutualisation désigne le fait qu'en couvrant un ensemble d'individus contre le même risque, l'assureur parvient à obtenir une certaine répartition de ce risque, et donc des pertes correspondantes, parmi ses clients. En effet, sur un grand nombre de clients exposés au même risque (accident de la circulation par exemple), certains présentent un risque élevé (conducteurs imprudents) et d'autres un risque faible (conducteurs vigilants). Selon un principe de *"solidarité subventionnelle"* (Cousy, 2002), la mutualisation permet alors à l'assureur de compenser en moyenne les différentiels de risque existant parmi ses clients. Pour ce faire, il calcule une prime moyenne correspondant à l'ensemble de ses pertes[90]. Puisqu'ils sont tous exposés au même risque, ses clients sont alors tous assujettis au paiement de cette même prime moyenne. Cependant, l'assureur risque de subir deux effets pervers désormais bien connus : l'effet d'anti-sélection et l'effet d'aléa moral.

D'une part, l'anti-sélection a pour effet d'écarter les bons risques du marché (Akerlof, 1970). Elle provient d'une mutualisation trop large. En effet, si de grands différentiels de risque existent parmi les assurés, une prime unique exigée d'eux ne sera pas efficace. Cette prime sera perçue comme (trop) élevée par les bons assurés et comme faible par les mauvais assurés. Aussi, sauf pour le cas où l'assurance est obligatoire, les premiers ne s'assureront-ils pas et ne resteront sur le marché que les mauvais risques. Le risque global de l'assureur augmentera et sa rentabilité sera menacée (Dionne *et alii*, 2001). Pour éviter cet effet, l'assureur dispose d'un moyen : la *différenciation* (ou segmentation) des risques. Parmi ses clients et pour un même type de risque, l'assureur a alors la possibilité de constituer des classes de risque. Les risques de chaque classe doivent être similaires et non corrélés (Faure, 2007b). Pour les accidents de la route par exemple, les critères habituellement retenus pour différencier le risque sont l'âge du conducteur, le modèle de son véhicule et ses accidents passés. Les clients sont donc classés *ex ante* dans des catégories de risque plus ou moins élevé auxquelles correspond une prime également différenciée. Plus la classe est homogène, plus la prime reflète le risque du membre moyen de la classe. Les primes sont ensuite ajustées *ex post* selon les observations (Cousy, 2002). De cette manière, les *mauvais assurés* payent une prime plus élevée et les bons assurés consentent davantage à s'assurer. La différenciation ne peut

[90] Les chapitres 2 et 3 montrent que la prime d'assurance inclut aussi d'autres éléments que la moyenne des pertes.

toutefois être poussée à l'infini puisqu'elle implique aussi un coût pour l'assureur, en termes de d'information et de transaction (Akerlof, 1970 ; Rothschild et Stiglitz, 1976). La détermination du niveau optimal de différenciation lui revient.

D'autre part, l'aléa moral est l'effet par lequel l'assuré change stratégiquement de comportement dès lors qu'il ne supporte plus lui-même le risque (Arrow, 1965 ; Pauly, 1968 ; Shavell, 1979). C'est l'une des contradictions de l'assurance-RC. En effet, sous prétexte qu'il est assuré, l'individu peut ne plus être incité à être précautionneux puisqu'il ne réparera pas lui-même les dommages. Il existe deux remèdes à ce problème : la différenciation du risque et l'exposition partielle de l'assuré au risque. La différenciation du risque se retrouve ici comme solution de premier rang pour inciter les mauvais assurés à être plus prudents afin de payer une prime inférieure. Elle permet ainsi de contrôler leur comportement (Spence et Zeckhauser, 1971). L'exposition partielle de l'assuré au risque, quant à elle, est un remède de second rang car, comme Faure (2007b) l'explique, *"l'assurance doit, idéalement, avoir pour but de ne pas faire supporter le risque à l'auteur potentiel d'un dommage. A cause de l'exposition partielle de l'assuré au risque, l'aversion au risque n'est pas complètement éliminée"* (p.185). Les franchises par lesquelles une somme forfaitaire reste à la charge de l'assuré en cas de sinistre ou les bonus qui récompensent l'assuré pour son comportement prudent en sont des exemples. Concernant les risques catastrophiques, l'offre d'assurance existe mais a souvent tendance à se concentrer pour accroître sa capacité. C'est particulièrement le cas de l'assurance du risque nucléaire[91]. Elle fait aussi fréquemment appel à la réassurance[92].

Le transfert, la mutualisation et la différenciation du risque sont donc les principes fondamentaux de l'assurance. Ces principes sont qualifiés de "traditionnels" car ils définissent l'assurance dans sa forme la plus ancienne et la plus simple. Pour répondre à ces principes et être assurable, quels critères le risque nucléaire doit-il alors respecter?

3.1.3.2. L'assurabilité du risque nucléaire

On trouve dans la littérature économique sur l'assurance de multiples critères d'assurabilité d'un risque. Ces critères concernent le risque lui-même, mais aussi l'assureur,

[91] Cette concentration de l'offre d'assurance nucléaire est analysée dans le chapitre 3.

[92] Comme pour l'assurance classique, la réassurance est l'opération par laquelle un individu transfère un risque à un autre individu moyennant le paiement d'une prime, à la seule différence que le premier est un assureur et le second un réassureur. De cette manière, l'assureur s'assure lui-même auprès du réassureur pour tout ou partie des risques qu'il a garantis, moyennant également le paiement d'une prime, qualifiée alors de "prime de réassurance".

l'assuré et le contrat qui les lie. On les qualifie de *"supply side criteria"* (Berliner, 1982 ; Henriet et Rochet, 1991 ; Gollier, 1996 ; Courbage et Liedtke, 2003)[93]. Parmi eux, sept ont été retenus.

(1) ***Le critère de survenance aléatoire***. Ce critère signifie que le risque doit obéir aux lois du hasard, c'est-à-dire que sa réalisation est incertaine. Ce hasard est à rapprocher non pas de l'incertitude radicale knightienne mais de l'incertitude probabilisable. On parle de hasard *ordonné*, dans lequel les probabilités sont connues.

(2) ***Le critère d'identification***. Il s'agit de pouvoir désigner clairement l'auteur du risque. Ce critère concerne particulièrement l'assurance-RC dans laquelle la réalisation du risque a un caractère bilatéral. Pour qu'un risque soit assurable dans ce cas, il faut que l'assureur et la victime puissent imputer la RC à un individu (ou un groupe) identifiable. Sans cela, la demande en réparation sera très difficile à satisfaire. L'assurance-dommages ne connaît pas ce type de problème puisqu'elle assure un risque unilatéral contre lequel l'assuré se couvre lui-même (maladie, accidents de la vie, inondation, etc.).

(3) ***Le critère de solvabilité***. Même lorsque l'auteur du risque est identifiable, la solvabilité de son assureur doit être garantie. Si le risque se réalise, l'assureur doit en effet être en mesure, en vertu de ses obligations contractuelles, de réparer les dommages et d'indemniser les victimes. Il doit donc disposer d'une capacité financière suffisante et mobilisable dans des délais raisonnables. *"La perte maximale possible (ne doit pas être) catastrophique au regard de la solvabilité de l'assureur"* (Godard *et alii*, 2002, p.379). Il lui revient donc de ne consentir à ne souscrire que les contrats qu'il est capable d'honorer.

(4) ***Le critère d'homogénéité***. Pour que le risque soit assurable, l'assureur doit pouvoir l'intégrer dans une mutualisation homogène, c'est-à-dire, dans un portefeuille de risques semblables. Pour compenser plus facilement ses pertes moyennes, l'assureur fait souvent le choix stratégique de diversifier les risques qu'il couvre. Or, une diversification efficace suppose que les risques soient, d'une part, de même dimension et d'autre part, indépendants. En effet, un assureur ne peut pas durablement compenser la couverture d'un risque rare et catastrophique (accidents nucléaires) par celle d'un risque fréquent et de faible ampleur (accidents automobiles). L'indépendance des risques est fondamentale pour éviter que leur réalisation soit, sinon simultanée, consécutive. Par ailleurs, pour éviter ces problèmes, le marché de l'assurance tend de plus en plus à se spécialiser.

[93] D'autres auteurs comme Holsboer (1995) ont défini des critères d'assurabilité du côté de la demande d'assurance c'est-à-dire les critères qui définissent dans quelle mesure un individu ou une entreprise peut effectivement acheter la couverture dont il ou elle a raisonnablement besoin.

(5) ***Le critère de limitation***. Un risque est traditionnellement considéré comme assurable s'il est limité dans ses dommages. Cela signifie que, par sa réalisation, le risque n'implique pas de pertes trop importantes, susceptibles de menacer la santé financière de l'assureur. Ce critère complète donc le critère d'homogénéité et protège la solvabilité de l'assureur.

(6) ***Le critère de quantification***. Pour juger du caractère limité d'un risque, il faut pouvoir le quantifier. Ce critère est parmi les plus importants. L'assureur doit disposer de données pour mesurer le risque qu'il couvre. Cette mesure conditionne la prévisibilité du risque et l'évaluation de ses pertes moyennes. Sans elle, l'assureur ne peut déterminer le montant de la prime. La prime d'assurance prend toute son importance car elle reflète la capacité du risque à être mesurée et de là, son assurabilité. Plus exactement, un risque est assurable s'il permet la détermination d'une prime "actuarielle"[94]. En 1884, Chaufton définissait l'assurance comme *"la compensation des effets du hasard sur le patrimoine de l'homme par la mutualité, organisée suivant les règles de la statistique"* (p…). La dimension statistique de l'assurance est précisément incarnée dans la prime actuarielle qui est le fruit d'un calcul basé sur le nombre et la régularité. L'assureur doit pouvoir s'appuyer sur des données observables, fiables et répétées sur le risque afin d'en classer les types de réalisation, les degrés de gravité et la récurrence. De ces données, il peut alors tirer des lois générales sur son *champ des possibles* et leur attribuer des probabilités. Ces données doivent également obéir à la loi des Grands Nombres. Selon cette loi, pour une série de variables aléatoires dont la corrélation ne dépasse pas certaines limites, la variance de la moyenne devient aussi petite qu'on le souhaite pour autant que le nombre de variables soit suffisamment grand (Bernoulli, 1738 ; Süssmilch, 1741 ; Laplace, 1814). Ainsi, comme l'expliquent Godard *et alii* (2002), *"en termes d'assurance, plus le nombre des contrats agrégés est grand, plus il autorise, toutes choses égales par ailleurs, une perspective de prévision certaine en moyenne"* (p.381). De là, lorsque l'assureur connaît les événements possibles, leurs conséquences et leurs probabilités, il peut s'engager dans le calcul d'une prime juste, reflétant parfaitement la mesure du risque.

(7) ***Le critère d'indépendance***. Ce dernier critère concerne la relation entre le comportement de l'assuré et la réalisation du risque. Selon lui, l'assuré ne doit pas être en mesure d'agir significativement sur la fréquence du risque ou sur son ampleur. Tout aléa moral doit par conséquent être éliminé.

[94] La prime est dite "actuarielle" en référence aux méthodes mathématiques utilisées par les actuaires, spécialistes des statistiques et des probabilités appliquées à l'assurance et la finance.

Compte tenu des caractéristiques du risque nucléaire et de ces critères, quelle conclusion pouvons-nous tirer concernant son assurabilité ? Tout d'abord, nous pouvons constater que le risque nucléaire satisfait aux critères de survenance aléatoire et d'identification. En effet, même si les incertitudes qui l'entourent ne sont pas totalement domestiquées, on peut considérer que le risque nucléaire obéit aux lois du hasard. Bien que non induites de l'expérience, des probabilités sont disponibles. De plus, l'auteur du risque nucléaire est clairement identifié et désigné par les Conventions de RC comme étant l'exploitant. De ce point de vue, le risque nucléaire est donc assurable. En revanche, il l'est beaucoup moins lorsqu'on considère les cinq autres critères. En effet, puisqu'il présente une dimension catastrophique non négligeable tant du point de vue de sa portée géographique que du montant de ses dommages, il ne peut être qualifié de risque "limité". Dès lors, il menace aussi le critère de solvabilité. Egalement, le risque nucléaire n'obéit pas à la loi des Grands Nombres puisqu'à ce jour, trop peu de données historiques sont disponibles pour tirer des lois générales statistiques. Le risque nucléaire n'est donc pas non plus "quantifiable" et n'est pas un risque actuariel. Contrairement aux risques classiques, il peut aussi difficilement être intégré dans une mutualisation puisque les risques individuels d'exposition dans une même zone sont fortement corrélés. Au sens d'Allais (1953), il n'est donc pas un risque "globalement éliminable". Enfin, le critère d'indépendance n'est pas satisfait étant donné que le comportement de l'exploitant nucléaire a une influence majeure sur la réalisation du risque. Au regard de ces cinq derniers critères, le tableau suivant montre que le risque nucléaire n'est pas donc assurable.

Critères d'assurabilité d'un risque	Risque nucléaire
Survenance aléatoire	X
Identification	X
Solvabilité	-
Homogénéité	-
Limitation	-
Quantification	-
Indépendance	-

Tableau 6. Position du risque nucléaire par rapport aux critères d'assurabilité

Au sens traditionnel, il y a en réalité refus ou impossibilité d'assurance seulement dans deux cas : lorsque trop d'incertitudes demeurent quant à la satisfaction des critères d'assurabilité ou lorsque les assureurs, même regroupés, ne peuvent remplir juridiquement ou financièrement leurs obligations. Dans la mesure où le risque nucléaire est concerné par le premier de ces cas, on peut en conclure qu'il n'est pas assurable au sens traditionnel du terme. De ce point de vue, l'argument des rédacteurs des Conventions pour mettre en place un plafond à la RC de l'exploitant et lui fournir une aide étatique se justifie. Toutefois, cette

conclusion doit être relativisée. En effet, ces critères d'assurabilité correspondent à une définition ancienne de l'assurance, datant de plus de cinquante ans. Or, les instruments assuranciels ont beaucoup évolué. Des alternatives à l'assurance traditionnelle se sont développées, offrant la possibilité de couvrir plus largement les risques de nature catastrophique. On assure aujourd'hui, et réassure, bien au-delà des limites envisagées auparavant. Les critères d'assurabilité se sont élargis et de nombreux exemples montrent désormais qu'il n'est pas nécessaire que de tels critères soient vérifiés, illustrant l'accroissement du champ d'intervention de l'assurance. Comme le montrent Chemarin *et alii* (2005), il est arrivé par exemple que des assureurs mettent en place des contrats sans pour autant disposer d'historiques statistiques ou pouvoir estimer de probabilités. Ce fut le cas en 1977 lors du lancement du premier satellite assuré ou encore lorsqu'en 1971, la Lloyd's[95] écrivit un contrat couvrant le risque de capture du monstre du Loch Ness lors d'un concours organisé par le producteur de whisky, Cutty Sark[96]. Les assureurs ont dû alors faire preuve de créativité et proposer de nouvelles perspectives de couverture des risques.

L'inassurabilité du risque nucléaire se vérifie donc d'un point de vue traditionnel mais l'assouplissement des critères d'assurabilité fait douter de sa pertinence actuelle. Ce doute laisse alors ouverte la question de la possibilité de repenser l'assurabilité du risque nucléaire à la lumière des nouveaux instruments assuranciels disponibles[97]. Ce détour par les principes traditionnels de l'assurance et les critères d'assurabilité était nécessaire, pour juger de la pertinence des frontières actuelles entre l'Etat et le marché dans la prise en charge de la réparation des dommages. En effet, ces frontières ont été justifiées par le fait que le risque nucléaire était inassurable. Par conséquent, si nous doutons de cet argument, nous pouvons alors aussi douter de la pertinence de ces frontières.

3.2. L'intervention de l'Etat dans la couverture du risque nucléaire

Plus que jamais, l'Etat occupe une place prépondérante dans la couverture du risque nucléaire. Il élabore les textes des Conventions de RCN, il autorise la construction et

[95] La Lloyd's est une association londonienne datant du XVIIème siècle et de renommée mondiale, composée d'environ 300 syndicats d'assurance, comprenant chacun plusieurs souscripteurs individuels.
[96] Ce second cas répondait sans doute aussi à un plan marketing.
[97] Cette question n'a pas sa place ici mais est précisément l'objet d'analyse du chapitre 4. Les solutions assurancielles dont bénéficie aujourd'hui la couverture des risques naturels, technologiques, et même terroristes sont en particulier examinées.

l'exploitation des centrales nucléaires et il finance en majeure partie la réparation des dommages et l'indemnisation des victimes d'un accident nucléaire. Les deux premiers niveaux d'intervention de l'Etat relèvent de la réglementation (responsabilité et sûreté) et sont indispensables. L'accroissement du dernier niveau d'intervention révèle, quant à lui, un problème de marchéisation du risque nucléaire. Par "marchéisation", il est entendu que le marché prend de plus en plus de place dans la couverture du risque. Dans le contexte actuel de déréglementation des marchés électriques, la place du "marché" peut être comprise comme la place de "l'exploitant". Or, en dépit des Protocoles de révision de 2004, et malgré la hausse du plafond de RC, la tendance au financement public se renforce. Comment les frontières Etat/marché actuelles ont-elles été définies ? (3.2.1). Se justifient-elles encore ? Sont-elles désirables ? (3.2.2)

3.2.1. Les frontières actuelles Etat/marché dans la couverture du risque nucléaire

Les frontières Etat/marché dans la couverture du risque nucléaire actuellement définies en Europe sont basées sur une mode de coordination particulier, qui laisse peu de place aux mécanismes du marché. Les frontières européennes seront analysées à travers l'exemple de la France (3.2.1.1). Dans un but comparatif, elles seront mises en perspective avec un autre modèle de coordination, celui des Etats-Unis. Cette comparaison est d'autant plus opportune que les Etats-Unis n'appartiennent pas au régime de RCN AEN/OCDE (3.2.1.2).

3.2.1.1. Les frontières Etat/marché en Europe : l'exemple de la France

Les Conventions AEN/OCDE ainsi que leurs amendements successifs sont intégrés, avec une certaine marge de manœuvre, dans les législations nationales des parties contractantes. Parmi ces législations, le cas de la France peut être pris comme exemple représentatif. Le cas de la France est l'un des plus intéressants pour trois raisons. Tout d'abord, c'est l'un des pays le plus en faveur de l'énergie nucléaire et le deuxième pays le plus anciennement nucléarisé d'Europe, après le Royaume-Uni. Ensuite, c'est celui qui produit la plus grande part d'électricité d'origine nucléaire dans le monde, par rapport à sa production totale. En effet, exploitant cinquante-huit réacteurs nucléaires sur dix-neuf sites en 2007, la France produit plus de 80% de son électricité grâce à ses installations nucléaires d'une puissance totale de 63 GWe. Enfin, la France est membre des Conventions AEN/OCDE, qu'elle a été l'une des premières à ratifier, depuis 1966.

La loi qui régit la RC des exploitants nucléaires en France est la loi n° 68-943 du 30 Octobre 1968 dite *relative à la RC dans le domaine de l'énergie nucléaire*. Cette loi reprend les principes fondamentaux de la Convention de Paris. La RC des exploitants français (dont EDF est le monopole de production) est objective, canalisée et limitée et les délais de prescription sont identiques. La loi nucléaire française prévoit également une peine d'emprisonnement et une amende pour les exploitants ne respectant pas leur obligation d'assurance ou de garantie financière. Comme pour les Conventions, la révision de cette loi a été très longue. Elle a finalement été modifiée une première fois en 1990 (par la Loi n°90-488), relevant le plafond de RC des exploitants français, de 50mFF (7millions €) à 600millionsFF par accident (91millions €). Cette limite de 91millions € est celle actuellement en vigueur en France.

Intégrant également les dispositions de la Convention de Bruxelles, la loi nucléaire française prévoit au-delà de la limite de RC de l'exploitant, une prise en charge sur fonds publics d'une part des dommages par l'Etat (à hauteur de 1500millionsFF, soit 231millions €) et par les Etats membres (à hauteur de 2500 millions FF, soit 381 millions €). Ces montants respectent les limites fixées par la Convention. En France, le financement du risque par l'Etat passe par l'intermédiaire de la Caisse Centrale de Réassurance[98] (CCR). L'article L. 431-5 du code français des assurances dispose que *"la Caisse Centrale de Réassurance, agissant avec la garantie de l'Etat, est chargée d'octroyer aux exploitants (…) d'installations nucléaires les couvertures pour lesquelles des interventions de l'Etat sont prévues par la loi nº 68-943 du 30 octobre 1968"*.

La loi nucléaire française prévoit également une limite de RC pour les accidents survenant en cours de transport. Cette limite est actuellement fixée à 23 millions € pour les transits nationaux et transnationaux, entre la France et un autre membre de la Convention de Paris. Concernant les transits en France d'un transport non régi par la Convention de Paris (c'est-à-dire d'un transport effectué par une entreprise d'un Etat non signataire), la garantie demandée se porte à 231 millions €.

Très récemment, le 13 juin 2006, la loi nucléaire française a de nouveau fait l'objet d'une révision (Loi n° 2006-686) dans le but d'y intégrer les amendements des Protocoles de

[98] Créée en 1946, la CCR est une société anonyme de réassurance au capital de 60millions € détenue par l'Etat français. Classée parmi les 25 premiers réassureurs mondiaux avec un chiffre d'affaires de plus d'1Md€, elle se distingue de ses concurrents en proposant, avec la garantie de l'Etat, des couvertures illimitées pour des branches spécifiques telles que les catastrophes naturelles en France et les risques de guerre (60 % de son chiffre d'affaires). La CCR assure également pour le compte de l'Etat, la gestion comptable et financière de certains Fonds Publics.

.

2004. Son texte consolidé est présenté dans l'Annexe 4. En conséquence, le plafond de RC des exploitants a été relevé à 700 millions € pour les accidents sur son installation (article 4) et à 80 millions € pour les accidents en cours de transport (article 9). Le plafond de RC en cas de transit en France d'un transport non régi par la Convention de Paris a été porté à 1200 millions € (article 9-2). De la même manière, la hausse et la répartition de l'indemnisation sur fonds publics ont suivi les amendements de la Convention de Bruxelles et ont été augmentés à 1200 millions € pour l'Etat et 1500 millions € pour les Etats membres. La nouvelle loi nucléaire de 2006 entrera en vigueur en même temps que les Protocoles de 2004. En France, cette entrée en vigueur est prévue pour 2008. Il faut donc s'attendre, très prochainement, à des changements significatifs en France quant à la couverture et à l'assurance du risque nucléaire[99].

Le tableau suivant résume les différents plafonds de couverture (actuels et futurs) établis par la loi nucléaire française.

	Plafonds en vigueur depuis 1990 (loi n°68-943 modifiée)	Plafonds futurs (loi n°68-943 modifiée en 2006)
Plafond de RC de l'exploitant	91	700
Financement par l'Etat	140	500
Couverture nationale	*231*	*1200*
Contribution conjointe des Etats membres	150	300
Couverture totale	*381*	*1500*

Tableau 7. Les plafonds de couverture établis par la loi nucléaire française (millions €)

Ainsi, si un accident nucléaire se produisait aujourd'hui en France, le montant total disponible pour réparer les dommages (nationaux et transfrontaliers) et indemniser les victimes s'élèverait à 381millions €. Ce montant sera multiplié par 4 après l'entrée en vigueur des Protocoles de 2004 et la loi française nucléaire de 2006.

Analyser les frontières respectives de l'Etat et du marché revient à étudier les différentes tranches de risque dans une perspective modulaire. Ainsi, pour la France, les 3 tranches de risque mises en place par la législation peuvent être représentées en 5 modules, représenté dans la Figure 7.

[99] Les implications de ces changements sont analysées dans les chapitres 2 et 3.

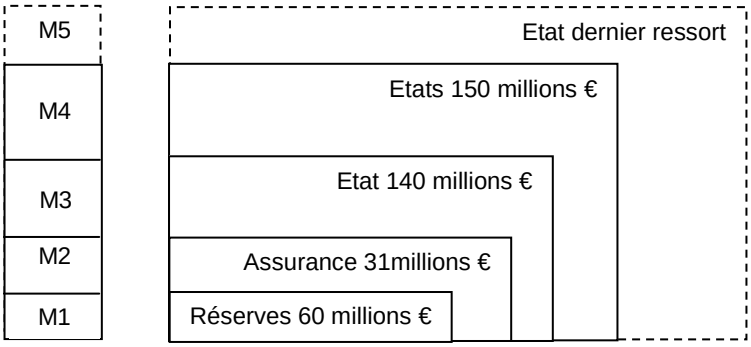


Figure 7. Structure modulaire de la couverture du risque nucléaire en France en 2007

Les modules M1 et M2 sont pris en charge par l'exploitant EDF pour couvrir son plafond de 91 millions €. La couverture de ce plafond peut en effet être divisée en deux car elle est effectuée de deux manières distinctes : les deux premiers tiers (60 millions €) sont couverts par les réserves financières propres d'EDF et le troisième tiers (31 millions €) par le recours à l'assurance[100]. M1 représente donc la part du plafond couvert par les réserves et M2 la part strictement assurancielle. Dans les autres pays européens, les exploitants couvrent leur RC exclusivement par l'assurance. Le cas d'EDF est spécifique à cet égard. Lorsque la loi nucléaire de 2006 entrera en vigueur et que la plafond de RC de l'exploitant sera porté à 700 millions €, les frontières des modules M1 et M2 seront nécessairement modifiées[101]. Les modules M3 et M4 sont financés par l'Etat et les Etats membres. Même s'il n'est pas présent explicitement dans la législation AEN/OCDE, il a semblé également intéressant d'introduire un cinquième module traduisant l'idée, déjà soulevée, qu'au-delà de M4 la réparation des dommages excédentaires reviendrait de fait aux Etats. Par ailleurs, la loi nucléaire de 2006 rend compte de cette préoccupation en introduisant une nouvelle disposition selon laquelle l'Etat peut décider exceptionnellement par décret de revoir la répartition des limites d'indemnisation (article 13). Un financement public supplémentaire est donc envisagé implicitement et le dernier module traduit cette intervention en dernier ressort.

A l'exception de la part "réserves" de l'exploitant et des montants exacts de chaque tranche, cette structure modulaire est identique pour tous les autres pays européens membres des Conventions AEN/OCDE. Pour tous ces pays, la structure ne comporte alors que 4 modules (où M1 inclut M1+M2).

[100] Ces réserves financières (appelées "réserves de propre assureur") ainsi que cette assurance sont analysées en détail dans le chapitre 3.
[101] Le chapitre 3 a précisément pour objectif d'analyser ces mouvements de frontières.

Quelle est la motivation d'une telle hiérarchisation des tranches ? Pourquoi l'Etat occupe-t-il une place si importante dans la couverture du risque nucléaire en Europe ? La prépondérance du financement public dans la couverture de ce risque est plus apparente en Europe qu'ailleurs. Les pays européens ont en commun une culture du risque qui privilégie globalement l'interventionnisme à la marchéisation. La survenance de catastrophes inédites au XXème siècle n'a eu de cesse de renforcer la demande du citoyen de voir le gouvernement garantir une gestion sécuritaire du risque. Concernant les Conventions de RCN, cette exigence est soutenue par le fait que le bien électricité est perçu depuis longtemps comme un service public dont la production et la distribution incombent à l'Etat. Cette opinion est majoritaire en Europe. C'est la raison pour laquelle dans beaucoup de pays, la production d'électricité nucléaire est encore, totalement ou partiellement, publique. De là, il paraît naturel pour les populations que la gestion du risque nucléaire, émanant d'un choix avant tout politique, soit aussi prise en charge par l'Etat. La dimension catastrophique de ce risque accentue évidemment cette demande.

Dès lors, comment les frontières Etat/marché ont-elles été délimitées ? A quelle logique répondent les niveaux d'indemnisation fixés pour chaque module ?

En premier lieu, comment le montant du plafond de RC de l'exploitant a-t-il été déterminé ? Si l'on s'appuie sur la législation la plus récente, pourquoi ce plafond a-t-il été porté à 700millions € et laissé au marché ? Il semblerait que plusieurs facteurs aient contribué à ce choix. D'abord, ce montant n'est pas le fruit d'une estimation des dommages potentiels d'un accident nucléaire. Ensuite, il est plutôt le résultat d'une multitude d'éléments objectifs et négociés. Comme l'explique Dussart-Desart (2005), qui a présidé le comité juridique AEN/OCDE pour la révision de la Convention de Paris, *"le nouveau montant de base (…) découle de la prise en considération, non seulement de l'érosion monétaire, mais aussi de multiples facteurs de nature à accroître les montants nécessaires en cas d'accident, et dans des degrés divers selon le droit des Parties, comme l'extension du champ d'application géographique à des Etats non-contractants, à certaines conditions, ou encore la nouvelle définition du dommage étendue à l'environnement et aux mesures de sauvegarde. Le critère ultime pour fixer le socle commun a finalement été celui de la capacité d'assurance en RC nucléaire"* (p.19). Eu égard à ce dernier élément, le montant a fait l'objet d'auditions de représentants du Comité Européen des Assurances, présents à titre d'observateurs au cours d'une partie des travaux de révision. La capacité affichée par les assureurs n'a toutefois pas été le fruit d'une formule mathématique susceptible d'être objectivée sur la base d'éléments

relevant du domaine public. Elle a été plutôt déterminée par la disposition des assureurs à intervenir dans un secteur particulier ainsi que par les tensions des marchés (réticence croissante à couvrir ce type de risque, baisse des capacités mondiales). Des sinistres de nature catastrophique, comme l'explosion de l'usine AZF de Toulouse ou les attentats du 11 septembre aux Etats-Unis en 2001, ont également eu un impact sur l'appréciation de cette capacité, au même titre que l'adoption de nouvelles dispositions qui augmentent la probabilité de faire appel plus rapidement, voire d'épuiser les montants disponibles. Les modalités de fixation de la limite du premier module (ou des deux premiers modules pour la France) sont donc assez opaques et la limite n'est pas le résultat d'un calcul objectif du risque ni le reflet des ressources financières de l'exploitant.

La marchéisation de la couverture du risque nucléaire s'arrête là et, dans un second temps, l'Etat prend la relève. Il est difficile de trouver une logique objective aux limites du financement public de la couverture du risque nucléaire (M3 et M4). La limite de M3 est probablement le résultat de discussions politiques. Quant à la limite de M4, elle se différencie de la précédente dans le sens où, comme nous l'avons vu plus haut, son financement est proportionnel au risque. Cette proportionnalité est le fruit d'une négociation politique marquée par le souci de concilier l'application du principe pigouvien du pollueur/payeur avec la perpétuation d'un principe de solidarité entre membres. Toutefois, cette application n'a qu'une pertinence réduite étant donné que cette tranche est financée sur fonds publics et non pas par l'auteur du dommage. Reprenant l'expression de Dussart-Desart (2005), on devrait alors plutôt parler de principe *" donneur d'autorisation/payeur"* (p.29).

Malgré cette opacité dans la détermination des frontières, sur quel(s) mode(s) de coordination sont-elles fondées ? Analyser la coordination des modules revient à comprendre quels sont les droits de propriété et les contrats qui les lient entre eux. De là, il s'agit de se demander quelle est la nature de ces contrats et quels sont les coûts qu'ils impliquent pour l'exploitant. Pour la France, les modules M1 et M2 sont pris en charge par le marché. D'une part, M1 est autofinancé par l'exploitant. Il n'obéit pas à un contrat puisque l'exploitant est la seule partie concernée. Il relève en revanche de la force, étant donné que l'Etat exerce un contrôle strict sur ces réserves pour en garantir la disponibilité. Le coût de M1 est lié au mécanisme d'autofinancement[102]. D'autre part, M2 est couvert par l'assurance. Cette fois, l'exploitant est lié à son assureur par un contrat en vertu duquel il paie une prime en échange

[102] Le statut comptable exact de ces réserves, ainsi que leur coût, sont analysés dans le chapitre 3.

du transfert de risque. La prime d'assurance représente le coût de ce contrat. Ensuite, lorsque le financement public intervient, peut-on alors encore parler de contrat ? Dans le cas de la France, et plus généralement des Conventions AEN/OCDE, la réponse est clairement négative. Quel droit de propriété existe-t-il entre l'exploitant et les modules M3 et M4 ? Par ces modules supplémentaires, les Etats complètent l'indemnisation de l'exploitant sans qu'aucun contrat ne les lie à celui-ci. Ils n'obéissent donc pas à une obligation contractuelle mais à une obligation législative. Puisqu'il n'y a pas de contrat, il n'y a donc pas de prix. Les Etats interviennent, en quelque sorte, gratuitement.

Ainsi, ni la délimitation des frontières Etat/marché ni la coordination entre les différents modules ne semblent répondre à une véritable logique économique. Ce constat étant, la question qui surgit alors est celle des conséquences et de la désirabilité d'une telle organisation. Mais pour la traiter de manière plus éclairée, une comparaison du schéma AEN/OCDE doit être faite avec un autre : le modèle américain.

3.2.1.2. Un autre modèle de coordination : le cas des Etats-Unis

Les Etats-Unis ne sont pas membres des Conventions AEN/OCDE ni d'aucun autre régime international de RCN. Ils sont dotés d'un régime autonome. Ce régime est, par ailleurs, le premier à avoir été mis en place dans le monde, avant même les Conventions.

Aux Etats-Unis, la production d'énergie nucléaire est assurée par 26 exploitants (dont Exelon, Entergy et FirstEnergy, parmi les plus gros) sur un parc de 104 réacteurs. La RC des exploitants américains est régie par le *Price-Anderson Act* (PPA), signé le 2 septembre 1957. Ce texte a été amendé en 1966, 1975, 1988 et 2005 et présente des points communs avec le régime AEN/OCDE. En effet, la RC des exploitants nucléaires est objective et limitée. Néanmoins, le rapprochement s'arrête là. Les différences entre le PPA et les autres régimes sont substantielles. Premièrement, le PPA est révisé beaucoup plus fréquemment (environ tous les dix ans). De plus, le plafond de RC des exploitants américains est significativement plus élevé que celui des exploitants européens. Il est actuellement fixé à 10,76 milliards $ (9 milliards €). Egalement, les exploitants couvrent leur RC d'une manière très différente. Une première tranche de risque (300 millions $) est couverte par chaque exploitant à travers une assurance-RC. La seconde tranche (10,46 milliards $) est conjointement couverte par les exploitants par le biais de primes rétrospectives garanties dans le cadre d'un accord de partage

de risque[103]. A la différence des Conventions AEN/OCDE, cette seconde tranche de risque est différenciée puisque les primes dépendent du nombre de réacteurs exploités. Elles s'élèvent, depuis 2005, à 100,6 millions $/réacteur/an (soit 100,6 millions $ x 104 = 10,46 milliards $). Il n'existe qu'un seul cas d'exonérations de RC : les actes de guerre. Enfin, dans le *PPA*, la RC des exploitants fait non pas l'objet d'une canalisation juridique mais d'une canalisation économique. Cela signifie que, contrairement aux Conventions AEN/OCDE, tous les acteurs de la chaîne de production nucléaire (transporteurs, constructeurs de réacteurs, etc.) ayant pu contribué à l'accident peuvent être reconnus juridiquement responsables. Toutefois, le poids économique de la réparation incombe exclusivement aux exploitants (McRae, 1998 ; Vanden Borre, 1999). Ainsi, l'organisation de la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis peut être représentée par la structure modulaire suivante.

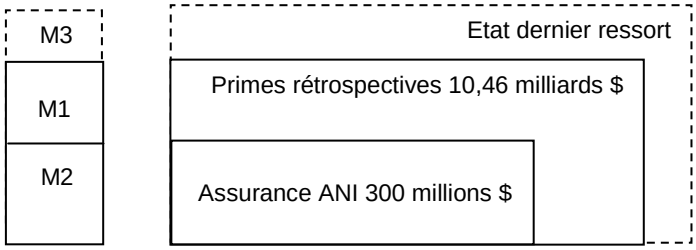


Figure 8. Structure modulaire de la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis

Au total, si un accident nucléaire se produisait aujourd'hui aux Etats-Unis, le montant total disponible pour réparer les dommages (nationaux et transfrontaliers) et indemniser les victimes s'élèverait à 10,76 milliards $ (9 milliards €). Les modules M1 et M2 sont pris en charge par l'exploitant. A nouveau, le dernier module M3 est rajouté pour faire apparaître l'intervention (hypothétique) de l'Etat américain en dernier ressort pour le cas où les montants d'indemnisation fixés par la loi seraient insuffisants.

Pourquoi le modèle américain est-il si différent du modèle AEN/OCDE? Les Etats-Unis n'ont, tout d'abord, pas une culture du service public et de l'interventionnisme aussi ancrée que les pays européens. Le marché occupe souvent une place beaucoup plus importante dans les secteurs industriels. Le secteur électrique ne déroge pas à cette règle. De ce fait, tous les exploitants nucléaires américains sont des entreprises privées. Cette priorité donnée à la sphère privée se traduit aussi par une forte marchéisation de la couverture du risque nucléaire. Pour preuve : cette couverture est aujourd'hui exclusivement financée sur

[103] Les détails techniques et le coût de ces deux tranches de risque et de ce type d'accord sont analysés dans le chapitre 4.

fonds privés. Bien que la RC des exploitants américains soit aussi limitée par un plafond, la part prise en charge par l'Etat a graduellement été réduite depuis 1957 jusqu'à disparaître en 1982, date de la deuxième révision du régime. Depuis, la couverture totale ne cesse de s'accroître en pesant toujours plus sur les exploitants. Par ce transfert progressif de charge, le gouvernement américain a exprimé le fait que si l'industrie nucléaire devait être dans une certaine mesure protégée au début de son développement, elle pouvait désormais supporter ce poids financier. Au-delà du transfert de coûts, c'est aussi un transfert de responsabilité qui s'est effectué. Par ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, les Etats-Unis ont récemment entamé un processus de ratification de la Convention CRC. Par ce geste, le Congrès américain s'engage à rendre disponible un montant supplémentaire d'indemnisation de 300 millions $. La NRC a annoncé que ce montant serait à la charge des exploitants[104] et non des Etats, confirmant ainsi son souhait de ne pas faire supporter aux contribuables le poids financier de leurs obligations internationales (Faure et Vanden Borre 2007). La couverture totale du risque nucléaire serait de ce fait portée à 11,06 milliards$.

Comment les limites des modules M1 et M2 ont-elles été fixées ? La limite M1 correspond à la capacité du marché de l'assurance américain à couvrir le risque nucléaire. La limite de M2 a été fixée en tenant compte d'une part de la capacité de l'industrie (ressources financières des exploitants) et d'autre part, du coût d'un accident nucléaire. Etant donné que M2 est financé conjointement par les vingt-six exploitants américains, la mise en commun de leurs ressources permet d'atteindre un niveau d'indemnisation plus élevé que lorsque la couverture est individuelle, comme dans le schéma AEN/OCDE. De plus, nous avons vu que le coût d'un accident nucléaire était au minimum estimé à 10 milliards €. Comme le plafond de RC du PPA s'élève à 10,76 milliards $, l'indemnisation des victimes est maximisée.

Enfin, sur quels modes de coordination le modèle américain est-il fondé ? M1 lie les exploitants à leur assureur par un contrat privé d'assurance-RC pour lequel ils payent une prime. Dans le cadre de M2, les exploitants sont liés entre eux par un contrat privé de partage de risque. Le coût de ce contrat inclut entre autres le coût des garanties qui soutiennent les primes rétrospectives[105]. Quel est alors le rôle de l'Etat dans la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis ? La NRC occupe une fonction d'encadrement et non de financement. D'une part, elle fournit les autorisations d'exploitation et fixe le montant des primes rétrospectives. D'autre part, elle avance les montants d'indemnisation en cas d'accident et les exploitants

[104] Les modalités précises de financement par les exploitants de ce nouveau montant d'indemnisation ne sont pas encore fixées. Les discussions sont en cours et le choix se porterait sur la hausse des primes rétrospectives et/ou la création d'une captive d'assurance.
[105] Ce coût est calculé dans le chapitre 4.

nucléaires les lui remboursent ensuite (à hauteur de 15 millions $/an)[106]. Il n'est pas prévu dans le texte du PPA que l'Etat intervienne dans la couverture autrement que par cette avance.

En comparaison avec le modèle AEN/OCDE, l'analyse du modèle américain aboutit à deux conclusions. En premier lieu, le montant total d'indemnisation pris en charge par les exploitants aux Etats-Unis est 117 fois plus élevé que celui de l'exploitant français et encore 13 fois plus élevé que le futur montant mis en place par les Protocoles de 2004. Par unité de réacteurs, ces montants s'élèvent respectivement à 105 millions $ (87 millions €) et à 1,6 millions €. Si on prend en compte l'indemnisation publique, ce dernier montant devient, pour la France, égal à 6,6 millions €. En second lieu, les exploitants nucléaires américains couvrent par eux-mêmes, et internalisent, une part beaucoup plus large des coûts du risque qu'ils génèrent. Ce modèle parvient donc à concilier à la fois ses objectifs *ex post* (indemnisation) et *ex ante* (incitation).

L'étude du modèle américain, dans lequel la règle de l'internalisation coasienne est davantage respectée, fait alors douter de la désirabilité actuelle des frontières Etat/marché dans la couverture du risque nucléaire en Europe.

3.2.2. Des frontières désirables?

La question du rôle de l'Etat dans la gestion des activités risquées se rapporte à la question de la subsidiarité. La subsidiarité est le principe selon lequel dans une structure hiérarchisée les pouvoirs de décision sont délégués le plus possible aux échelons inférieurs. Ce principe pose donc la question des rôles respectifs de l'Etat et des exploitants dans la prise en charge du risque nucléaire. Celle-ci doit-elle être centralisée ou décentralisée ? Dans quelle mesure l'Etat doit-il réguler les activités risquées ?

Pour réguler une activité risquée et en gérer les accidents éventuels, l'Etat a quatre possibilités : financer lui-même les réparations, contraindre l'industriel à s'assurer pour ses risques, intervenir comme "assureur en dernier ressort" ou réglementer l'activité. Dans le premier cas, l'Etat répare lui-même les dommages et indemnise les victimes d'un accident sur fonds publics, en établissant *ex post* des mesures *ad hoc*. L'industriel n'internalise alors aucunement ses coûts du risque. En général, ce type d'intervention concerne les risques dont

[106] Cette obligation est inscrite dans le §140.22 ("*Commission guarantee and reimbursement agreements*") de la réglementation de la NRC.

l'auteur n'est pas identifiable. Dans le deuxième cas, l'Etat transfère l'indemnisation à l'auteur du dommage et garantit, par l'obligation d'assurance, sa solvabilité. Si l'assurance n'est pas limitée, l'internalisation des coûts du risque est alors maximisée. Troisièmement, si l'ampleur des dommages le requiert et si les ressources de l'industriel sont insuffisantes, l'Etat peut compléter "en dernier ressort" son indemnisation. Cette intervention correspond au module M5 de la Figure 7 (p.92). Enfin, l'Etat peut également prévenir les accidents par l'imposition à l'industriel de mesures réglementaires *ex ante*. Les trois dernières solutions ne sont pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner. En l'occurrence, dans l'industrie nucléaire, on retrouve l'obligation d'assurance et la prise en charge par l'Etat d'une tranche de risque. L'Etat impose également à l'exploitant des normes de sûreté dont il contrôle l'application. Il joue aussi un rôle décisif dans l'attribution des autorisations d'exploitation[107].

Si ce pouvoir de décision réglementaire est considéré comme essentiel pour contrôler les activités hautement risquées, la nécessité du financement public de la couverture du risque est, en revanche, moins évidente. L'efficacité du module M1 (ou M1+M2 pour la France) a déjà été étudiée dans la section 2. Qu'en est-il des modules étatiques M2 et M3 (ou M3 et M4 pour la France) ? Selon Radetzki et Radetzki (1997), le transfert du risque au gouvernement doit s'apprécier selon le critère de sa désirabilité. La définition de la désirabilité a été donnée au début de ce chapitre comme étant la capacité à concilier les exigences sociales de protection des victimes contre les risques catastrophiques et l'impératif économique de l'internalisation coasienne. Aussi, la question sera-t-elle examinée relativement à ces deux dimensions.

Du point de vue social, l'intervention de l'Etat semble nécessaire pour deux raisons : une exigence éthique et un problème de mesure. D'une part, même lorsque les exploitants sont des entreprises privées, le choix de produire de l'énergie nucléaire est avant tout un choix politique dont l'Etat est l'initiateur. De ce fait, ce choix suppose aussi de garantir la sauvegarde de l'environnement et la sécurité sanitaire de la population. Il implique également de se préoccuper de la qualité de l'héritage industriel légué aux générations futures. Déjà mentionné dans le paragraphe précédent, ce problème éthique justifie donc que l'Etat ne laisse pas totalement au marché la couverture du risque nucléaire et qu'il l'encadre. D'autre part, cette exigence éthique est renforcée par la difficulté de mesurer le risque nucléaire. Nous avons vu en effet que ce risque revêt une dimension catastrophique et incertaine qui en

[107] Ce processus réglementaire est analysé plus en détail dans le chapitre 2.

complexifie la quantification. Ce problème de mesure se traduit par une externalité négative sur le marché de l'assurance dont la capacité est limitée. Lorsque le marché de l'assurance fait face à une insuffisance de capitaux pour couvrir un risque, il fait traditionnellement appel à la réassurance. Toutefois, même le marché de la réassurance peut se révéler limité à couvrir certains risques de grande ampleur. Dans ce cas, s'il n'existe pas de solution réassurancielle privée, l'intervention de l'Etat est désirable en dernier ressort. Il peut alors couvrir la part de risque excédentaire en respectant néanmoins l'idée que c'est toujours l'exploitant qui doit supporter le coût de la couverture. Pour satisfaire à cette exigence, l'Etat doit agir comme un acteur du marché, en véritable réassureur. Selon Faure (2007a), *"reinsurance by the state seems an adequate method to facilitate the insurability"*[108] (p.355). D'autres auteurs comme Kunreuther (1992, 1996), Harrington (2000) ou Schwarze et Wagner (2004) défendent aussi cet argument. Faure (2007a) précise : *"On the condition that the government charges an actuarially fair premium for its intervention there seems to be hardly any objection against this"*[109] (p.355). L'intervention publique se "marchéise" et il s'agit alors d'une réassurance au sens strict, comme on la trouve sur le marché privé.

Mais l'intervention de l'Etat dans la couverture du risque nucléaire relève-t-elle aujourd'hui de cette démarche ? Deux raisons incitent à répondre négativement à cette question. Tout d'abord, l'Etat n'intervient pas strictement en dernier ressort. En effet, nous avons vu que l'intervention étatique était, à l'origine, justifiée par le fait que l'industrie nucléaire et le marché de l'assurance étaient insolvables, au regard des montants concernés. Or, le premier argument ne se justifie plus et le second laisse planer le doute quant à sa pertinence[110]. Ainsi, le niveau d'intervention de l'Etat est aujourd'hui inapproprié et trop bas. La frontière du module M3 (pour la France) pourrait donc être relevée pour que l'exploitant (et le marché de l'assurance) supporte davantage le poids de la réparation[111]. Le niveau de ce relèvement dépend évidemment de chaque exploitant et de chaque pays. L'idée sous-jacente est de relever la frontière de M3 jusqu'à se rapprocher le plus possible d'un RC illimitée. Ensuite, cette intervention ne consiste, de fait, aucunement en une réassurance. L'Etat ne fait, en effet, payer aucune prime de réassurance aux exploitants nucléaires. Son rôle équivaut à une réassurance gratuite en excédent de perte annuelle et relève, de fait, d'une assistance. Il

[108] "L*a réassurance par l'Etat est une méthode adéquate pour faciliter l'assurabilité*".
[109] "A *partir du moment où l'Etat fait payer une prime actuarielle juste pour cette intervention, il n'y a aucune objection (à cette méthode)*".
[110] Ce doute se confirme dans le chapitre 4 où la couverture (plus large) d'autres risques catastrophiques est étudiée.
[111] Le niveau de ce relèvement dépend évidemment de chaque exploitant et de chaque pays. L'idée sous-jacente est de relever la frontière de M3 jusqu'à se rapprocher le plus possible d'un RC illimitée.

est, par ailleurs, explicitement indiqué dans la Convention de Bruxelles que l'Etat intervient par solidarité et non pas par responsabilité (article 3 c)ii)). La question de l'imputation éventuelle d'une responsabilité de l'Etat en tant que détenteur du pouvoir d'autorisation et de surveillance d'installations s'avérant défaillantes a plusieurs fois fait l'objet de débats lors de la révision des Conventions AEN/OCDE mais n'a pas jamais été retenue (Lamm, 1998 ; Dussart-Desart, 2005). Dans l'industrie nucléaire, les conditions de Faure (2007a) en faveur d'une réassurance par l'Etat en cas de défaillance du marché privé de l'assurance ne sont pas remplies. Ce constat est aussi valable pour le module M4 conjointement financé par les Etats membres du régime AEN/OCDE. En conclusion, du point de vue de l'impératif économique de l'internalisation coasienne, ni le niveau ni la forme actuelle de l'intervention de l'Etat dans la couverture du risque nucléaire ne sont donc désirables.

Au final, quels sont les gagnants et les perdants de cette organisation de la couverture du risque nucléaire ? Les gagnants sont l'industrie nucléaire et les consommateurs, et les perdants sont les victimes des accidents nucléaires et les autres sources d'énergie.

En effet, outre les bénéfices en termes d'incitation et de prévention du risque qu'elle procure, l'internalisation par l'exploitant permet de mesurer ses coûts du risque. Au même titre que les autres coûts de production, ces coûts sont répercutés dans le prix de l'électricité produite. Ainsi, si l'exploitant les internalise en intégralité, son prix reflète les véritables coûts de l'industrie. Le prix devient alors un vecteur d'information pour le consommateur. Or, comme l'internalisation n'est que partielle, du fait du plafond de RC et de l'aide étatique, le prix est artificiellement bas et ne reflète que partiellement les coûts de l'exploitant. D'un côté, l'industrie nucléaire se trouve donc protégée parce qu'elle ne subit qu'une part des coûts de couverture du risque qu'elle génère. De l'autre, les consommateurs d'électricité bénéficient d'une offre d'électricité bon marché[112].

Cependant, le prix n'est plus un signal pertinent pour les consommateurs qui vont avoir tendance à surconsommer de l'électricité d'origine nucléaire, les autres sources d'énergies leur paraissant moins compétitives. La demande des autres secteurs électriques en sera réduite d'autant. Enfin, s'ils bénéficient d'une électricité bon marché, ces mêmes consommateurs sont aussi ceux qui risquent d'être victimes en cas d'accident nucléaire. Or, si tel était le cas, ils risqueraient de devoir supporter eux-mêmes le poids de leur propre indemnisation. Ils le supporteraient même doublement : d'une part, parce que l'indemnisation par l'Etat est financée

[112] Le chapitre 2 fait écho à cette conclusion. D'une part, la protection de l'industrie en termes de coûts de couverture est assimilée à une subvention implicite. D'autre part, sont examinées les conséquences de cette subvention implicite sur le prix de revient de l'électricité.

par leur propre impôt ; d'autre part, parce que l'indemnisation des dommages excédant M4 pourrait théoriquement rester à leur charge (puisque M5 n'est pas explicite).

En conclusion, la désirabilité de l'intervention de l'Etat, et plus généralement des frontières actuelles Etat/marché dans la couverture du risque nucléaire, n'est pas satisfaisante. Si une indemnisation complémentaire par l'Etat est pertinente du point de vue de la protection des victimes, elle n'est cependant désirable que lorsque toutes les solutions de marché sont épuisées et que le coût de l'intervention reste à la charge de l'exploitant. Ces conditions visent à l'optimisation des frontières Etat/marché et sont nécessaires à la conciliation des logiques *ex post* et *ex ante* du régime de RCN. L'Etat intervient alors effectivement en *dernier* ressort et il devient une solution indispensable mais ultime.

4. Conclusion

La question traitée dans ce chapitre était l'efficacité du régime de RCN AEN/OCDE au regard de ses objectifs *ex post* et de ses avancées *ex ante.* L'analyse effectuée conclut à une inefficacité du régime.

A cet égard, la section 2 a permis de mettre en évidence deux inefficacités. D'une part, le régime de RCN privilégie une logique *ex post* défavorable à l'internalisation et à la prévention du risque. La dimension incitative du régime est négligée. Pour la rétablir, nous nous prononçons en faveur d'une règle de RC illimitée et de la suppression de la canalisation juridique de la RC sur l'exploitant. D'autre part, même les objectifs compensatoires du régime ne sont pas pleinement atteints. Les montants d'indemnisation sont loin de correspondre au coût moyen d'un accident nucléaire.

La section 3 a mis l'accent plus particulièrement sur le rôle de l'Etat dans le financement de l'indemnisation. Cette intervention n'est pas désirable dans son niveau et dans sa forme actuels et protège l'exploitant nucléaire. A l'instar des Etats-Unis, il serait plus efficace que les frontières soient remodulées : le financement privé de la couverture du risque devrait être autant que possible privilégié et l'Etat ne devrait intervenir que pour l'encadrer et qu'en dernier recours.

En conclusion, ce chapitre a montré que le régime de RCN AEN/OCDE était favorable à l'industrie nucléaire et qu'il n'était pas satisfaisant à l'égard de la gestion *ex ante* du risque nucléaire. Au-delà de son apport propre, il ouvre la réflexion sur d'autres questions essentielles, au premier rang desquelles, celle de la couverture du risque nucléaire. Cette question est l'objet, sous différents angles, des chapitres suivants. Le premier, le chapitre 2

porte sur l'impact du défaut d'internalisation des coûts du risque sur les coûts de couverture de l'exploitant.

CHAPITRE 2.

LIMITE DE RESPONSABILITE CIVILE NUCLEAIRE ET SUBVENTION IMPLICITE : LE CAS DE LA FRANCE

1. Introduction

Le Chapitre 1 a montré que le régime de RCN privilégiait une logique *ex post* favorable à l'industrie nucléaire. En particulier, nous avons vu que le plafond de RC de l'exploitant est la source principale du défaut d'internalisation des coûts du risque. Ce plafond n'a pas de justification satisfaisante et ses conséquences négatives en termes incitatifs sont indéniables. Mais les conséquences du plafond de RC sont plus étendues encore. En effet, non seulement il protège juridiquement l'exploitant d'une part de sa responsabilité mais il le décharge aussi d'une partie de ses coûts de couverture du risque

Dès lors, s'insérant à nouveau dans la perspective du respect de la règle de l'internalisation coasienne et de la dimension incitative de la gestion du risque, le présent chapitre a deux objectifs. Le premier consiste à montrer que le plafond de RC de l'exploitant peut être considéré comme la source d'une subvention implicite en sa faveur. Cette subvention est égale au coût de couverture dont l'exploitant est déchargé du fait de sa RC limitée. *"In the absence of such a cap, there would be additional costs that the industry would have to pick up, either directly or through payment of additional insurance premiums"*[113] (Heyes, 2002, p.28). Ce chapitre se propose précisément d'analyser et de calculer les coûts additionnels de couverture auxquels Heyes fait référence ici. Il est important, en effet, que cette subvention soit évaluée empiriquement pour estimer l'ampleur des distorsions ainsi créées par le régime actuel de RCN. Sans une telle évaluation chiffrée, l'effet de distorsion resterait purement théorique, puisque rien ne prouve que l'internalisation complète de la RC soit d'un ordre de grandeur suffisant pour avoir un impact sur les coûts de l'exploitant. Le second objectif de ce chapitre consiste ensuite à analyser les conséquences économiques de cette subvention implicite.

Bien que rare, ce raisonnement en termes de subvention implicite est présent dans la littérature. Les premiers travaux rudimentaires datent des années 1970 (Denenberg, 1974 ; GAO, 1975) et les évaluations les plus sérieuses des années 1990 (Dubin et Rothwell, 1990 ;

[113] *"En l'absence d'un tel plafond, l'industrie devrait supporter des coûts additionnels, soit directement, soit par l'intermédiaire du paiement de primes supplémentaires d'assurance".*

Heyes et Liston-Heyes, 1998, 2000b). Ces études concernent exclusivement l'Amérique du Nord. Plus tardivement, les autorités nucléaires américaines ont reconnu elles-mêmes l'existence de cette subvention de couverture (US NRC, 1983 ; EIA, 1992 ; EIA, 1999). En Europe, ni cette reconnaissance explicite par les autorités, ni aucun travail académique d'évaluation n'existe. Ainsi, s'inspirant des travaux existants, l'originalité du travail effectué dans ce chapitre réside dans l'application de ce cadre analytique à l'Europe. Egalement, il sert de support pour la seconde partie qui aborde en détail le marché de l'assurance du risque nucléaire.

Le chapitre est structuré de la manière suivante.

Dans un premier temps, la subvention implicite de couverture dont bénéficie l'exploitant est analysée et évaluée (2). Le cas de la France est utilisé, non comme cas spécifique, mais comme exemple représentatif de la situation des pays membres des Conventions de RCN AEN/OCDE. Cette évaluation prend appui sur le modèle d'évaluation de Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) et sur les données de probabilités et de coût des accidents nucléaires fournies par les EPS, présentées dans le chapitre précédent. Cet exercice apporte une dimension empirique à l'analyse. De plus, il offre une grille de lecture plus pertinente, en améliorant la méthodologie parfois approximative du modèle existant. Plusieurs difficultés méthodologiques doivent également contournées.

Au-delà de l'exercice purement mathématique, l'évaluation de la subvention implicite permet ensuite de mettre en évidence ses conséquences économiques négatives (3). Nous montrons alors quel est son impact sur la compétitivité de l'énergie nucléaire et ses effets sur la prévention des accidents. Pour cela, l'analyse s'appuie sur les données des marchés de l'énergie (DGEMP, 2003 ; EDF, 2006 ; Gadonneix, 2007), et la littérature économique croisée entre réglementation et analyse économique du droit (Shavell, 1984a, 1984b ; Faure et Vanden Bergh, 1990 ; Kolstad *et alii*, 1990 ; Rust et Rothwell, 1995 ; Burrows, 1999 ; Faure, 2007b).

2. La limite de RC nucléaire : une subvention implicite

Parce qu'elle réduit les coûts de couverture à sa charge, la limite de RC de l'exploitant nucléaire européen peut être considérée comme la source d'une subvention implicite. Dès lors, la présente section répond aux deux questions suivantes : dans quelle mesure peut-on parler de subvention implicite ? A quel montant s'élève cette subvention ? Nous répondons à la première question en montrant en quoi cet argument se justifie et en quoi il est novateur (2.1). Nous

répondons à la seconde en nous appuyant sur le cas français. Le modèle numérique utilisé (2.2.), puis les résultats (2.3), seront alors examinés.

2.1. Dans quelle mesure peut-on parler de subvention implicite?

L'étude de cette question comporte deux volets : examiner en quoi la limite de RC nucléaire peut être perçue comme une *subvention* (2.1.1) et en préciser le caractère *implicite* (2.1.2).

2.1.1. Du plafond de RC à la subvention implicite de couverture

Selon la règle de l'internalisation coasienne, une entreprise doit supporter la totalité du coût des risques qu'elle génère. Autrement, il existe une externalité. L'internalisation des coûts du risque par l'exploitant nucléaire est un impératif pour deux raisons.

D'une part, elle lui permet de mesurer précisément tous les coûts de son activité et de considérer les coûts liés au risque comme une composante parmi d'autres des coûts de production. De cette manière, les coûts du risque ne sont pas externalisés (et donc reportés sur la société) mais supportés par l'entreprise. Or, depuis les années 1960, la RC des exploitants nucléaires européens en cas d'accident sur leurs installations est limitée par un plafond financier. Dès lors, le chapitre 1 a montré que ce plafond réduit artificiellement les coûts du risque des exploitants qui ne les internalisent alors que partiellement. Il a aussi montré les conséquences négatives de ce défaut d'internalisation en termes d'incitations.

D'autre part, l'internalisation des coûts du risque implique leur couverture par l'entreprise. Cette couverture garantit la disponibilité des fonds pour réparer les dommages et indemniser les victimes en cas de réalisation du risque. Toutefois, lorsque l'internalisation des coûts du risque est restreinte, leur couverture l'est également[114]. C'est précisément à cet égard que la limite de RC peut être considérée comme une *subvention* dont l'exploitant est le bénéficiaire. En effet, cette limite lui permet de ne pas avoir à internaliser ni à couvrir les coûts du risque qu'il génère au-dessus de son plafond de RC. Il n'a donc pas à supporter la charge des coûts excédentaires. Or, comme nous l'avons vu, un accident nucléaire peut causer des dommages de très grande ampleur dont le coût peut être extrêmement élevé, bien plus élevé

[114] Sauf bien entendu dans le cas où l'Etat ou un autre agent économique réassurerait l'exploitant pour ces coûts du risque supplémentaires en lui faisant payer une prime, ou assurerait les victimes elles-mêmes pour ce type de risque. Au-delà de la question de l'efficacité ou de l'inefficacité de cette solution, les coûts seraient en tout cas internalisés. Cependant, ce n'est pas le cas dans l'industrie nucléaire.

que le plafond de RC. En conséquence, les coûts du risque excédant le plafond (fixé actuellement à 91 millions € en France et à 700 millions € avec les Protocoles de 2004) et non couverts par l'exploitant représentent une externalité. C'est pour cette raison qu'il est prévu que les Etats interviennent pour financer une partie de ces coûts excédentaires sur fonds publics (à hauteur aujourd'hui de 381 millions € en France et de 1500 millions € avec les Protocoles de 2004). Il est vrai que ces dispositions sont favorables aux victimes. Toutefois, nous avons vu que ces interventions sont gratuites pour l'exploitant et ne remédient pas au défaut d'internalisation et de couverture des coûts du risque par l'exploitant. On peut donc en déduire que les Conventions de RCN protègent l'exploitant contre l'obligation de réparer intégralement les accidents nucléaires, en particulier majeurs, dont les coûts peuvent largement excéder sa limite de RC. Elles admettent ainsi implicitement que, si le coût d'un accident nucléaire dépassait le plafond, l'exploitant ne pourrait pas garantir une indemnisation intégrale aux victimes. C'est précisément ce défaut de couverture, issu du défaut d'internalisation lui-même, qui prend la forme d'une subvention implicite. En effet, grâce à son plafond de RC, il n'a pas à couvrir une part de ses coûts du risque et réalise ainsi une économie annuelle proportionnelle aux coûts non-internalisés. Cette économie correspond à la charge financière additionnelle qu'il devrait supporter (sous la forme d'une prime d'assurance supérieure, par exemple) pour les couvrir. Par la suite, pour désigner cette charge additionnelle non subie, nous parlerons de *subvention de RC* ou de *subvention de couverture*. La Figure 9 résume schématiquement la répartition des coûts du risque de l'exploitant nucléaire entre coûts internalisés et coûts non-internalisés.

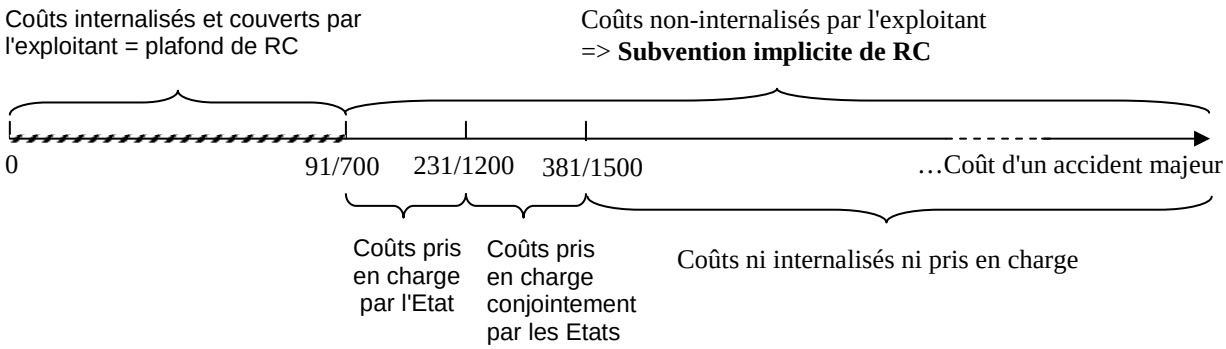


Figure 9. Répartition des coûts du risque nucléaire entre coûts internalisés et subvention implicite (en millions €)

La subvention de RC dont l'exploitant bénéficie a un statut particulier parce qu'elle correspond non pas à un paiement perçu mais à une non-dépense. Cette non-dépense peut être assimilée à une exonération de couverture. Ce que nous appelons *subvention* est donc à

comprendre dans un sens différent de son sens commun. En effet, une subvention se définit traditionnellement comme un transfert de fonds financiers d'un acteur (un Etat, une collectivité, une entreprise…) vers un autre. Ce transfert a généralement pour objectif de soutenir l'initiative économique ou l'activité déjà existante de l'acteur récipiendaire de la subvention. Or, ici, la *subvention de RC* ou *subvention de couverture* de l'exploitant fait référence au coût dont les Conventions de RCN le déchargent au titre de son plafond financier. La subvention est donc un coût que l'exploitant *devrait* subir pour la couverture totale de sa RC. Il s'agit d'une charge *évitée*. Cette subvention n'est donc pas tangible puisqu'en réalité aucun transfert financier n'est réalisé au profit de l'exploitant. Elle est donc par définition "implicite". Le raisonnement en termes de subvention reste néanmoins pertinent. D'un point de vue comptable, le crédit d'un montant financier (subvention au sens traditionnel) et le non-débit de ce montant (subvention de RC) sont équivalents. En d'autres termes, que l'exploitant reçoive effectivement un montant équivalent au coût qu'il devrait supporter pour couvrir les coûts non-internalisés ou qu'il bénéficie d'un régime de faveur en vertu duquel il peut ne pas supporter ce coût, revient exactement au même pour lui : il est de fait exonéré de la couverture.

Dans cette situation, qui sont les gagnants et les perdants ? Bien que le transfert monétaire à l'exploitant ne soit pas effectif, pouvoir parler de subvention requiert l'existence d'un acteur bénéficiaire (le destinataire) et d'un acteur subventionnant (la source). Il est compris que le bénéficiaire est l'exploitant. Mais quelle est alors la source ? Etant donné que la subvention est implicite, la source est ici l'acteur qui *devrait* bénéficier de l'internalisation intégrale des coûts du risque mais qui est lésé par l'exonération de couverture de l'exploitant. Dans le cas de l'industrie nucléaire, la source de la subvention est l'ensemble des victimes potentielles d'un accident nucléaire qui seraient privées d'une part de leur indemnisation, si le coût de l'accident dépassait le montant du plafond de l'exploitant. Ces victimes devraient alors supporter elles-mêmes le financement de leur indemnisation. Ce report de financement sur les victimes ne serait toutefois pas total du fait de l'existence des deux tranches de risque supplémentaires des Etats. Les coûts subis par les victimes seraient donc en partie compensés par ces indemnisations complémentaires. Par conséquent, on est face au schéma suivant, représenté par la Figure 10 ci-dessous : l'exploitant prend en charge les dommages $\boldsymbol{N}$, jusqu'au plafond de RC. Les coûts du risque non-couverts par l'exploitant (notés $\overline{\boldsymbol{N}}$), à l'origine de la subvention implicite $\boldsymbol{S}$, sont supportés par les victimes potentielles d'un accident nucléaire. Ces coûts sont partiellement compensés par l'indemnisation étatique (notée $\boldsymbol{I = I_1 + I_2}$, avec

$I < \overline{N}$, I_1 l'indemnisation prise en charge par l'Etat dans lequel l'accident a lieu et I_2 l'indemnisation conjointe des Etats parties). Les victimes supportent donc les coûts résiduels $\overline{N} - I$ (zone hachurée), qui ne sont l'objet d'aucune compensation. Néanmoins, étant donné que I est financée sur fonds publics, c'est en réalité le contribuable qui les paye indirectement. Or, étant donné que le contribuable peut être aussi lui-même une victime (nationale ou transfrontalière) de l'accident nucléaire, il paie alors dans ce cas $\overline{N}$ en totalité.

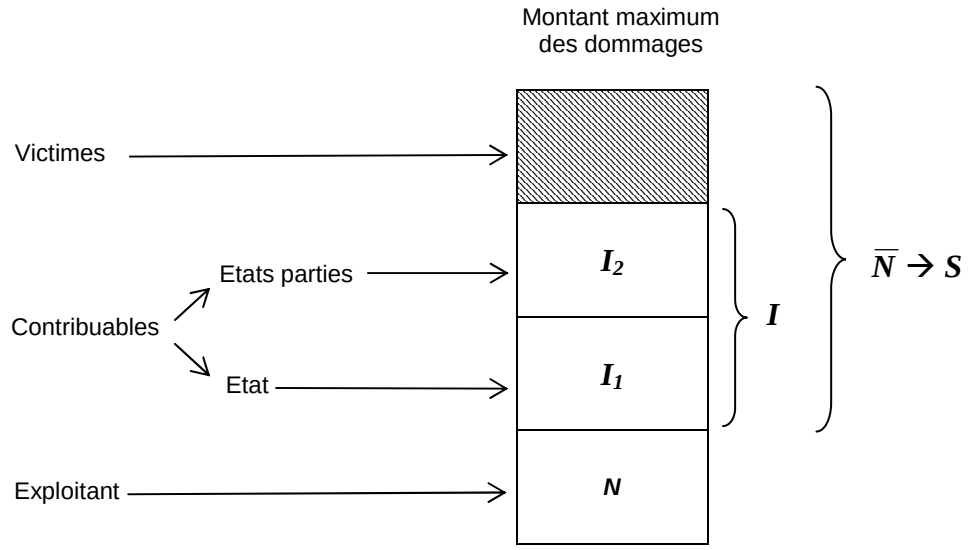


Figure 10. Financement de l'indemnisation des victimes d'un accident nucléaire

Rothwell (2002) précise qu'il n'y a pas de subvention, même implicite, tant que le risque ne se réalise pas. Or, cet argument n'est valable que pour les coûts résiduels $\overline{N} - I$ et non pour la subvention S. En effet, les victimes ne supportent les coûts résiduels $\overline{N} - I$ qu'après la survenance d'un accident, soit *ex post*. Tant qu'aucun accident n'a lieu, ces coûts ne sont donc que potentiels. Toutefois, la subvention de couverture S existe bel et bien *ex ante*. Si la règle de l'internalisation coasienne était respectée, l'exploitant couvrirait l'intégralité des coûts du risque et supporterait donc le coût additionnel S. S n'est pas un coût potentiel qui n'a de pertinence qu'*ex post*. Au contraire, il n'a aucune pertinence *ex post*. Qu'apporterait le constat que le risque nucléaire n'était que partiellement couvert une fois les dommages causés ? La mise en place de *réparations* dont la logique diffère de celle de *l'indemnisation*. Bien sûr, si on pouvait prédire le futur et affirmer qu'aucun accident nucléaire n'aura plus jamais lieu, alors le coût S, et ce travail, n'auraient plus d'intérêt. Le risque lui-même disparaîtrait. Comme le monde est très loin de cette capacité, il n'est dès lors pas acceptable vis-à-vis des victimes potentielles d'un accident, de tolérer une situation de risque partiellement couvert en espérant que ce risque ne se réalise jamais. L'exploitant nucléaire bénéficie donc effectivement d'une

subvention de couverture. Si aucun accident n'a jamais lieu, les frais engagés pour la couverture intégrale de ses coûts du risque seraient perdus. Mais cela n'est rien d'autre qu'une règle de base de la couverture d'un risque. Accepterait-on qu'un chirurgien, qui a une solide réputation, bénéficie d'un régime de faveur en vertu duquel il est en droit de ne couvrir son risque médical que de manière limitée et de n'internaliser que partiellement ses coûts du risque ? Heyes partage ce point de vue lorsqu'il dit: *"That is fuzzy thinking, in my opinion. The nuclear power industry receives a subsidy each and every quarter in which it does not have to buy insurance to cover the full risk associated with its activity"*[115] (Heyes, 2002, p.28). Et prenant l'exemple de l'assurance automobile, il avance : "*If the government*[116] *were to offer to pick up my bill for car insurance, that would help me financially (by definition, a subsidy) whether or not I crash my car (…). We can argue over how big that subsidy might be, what the incentive implications of the subsidy are, and whether its continuance is warranted. But we cannot argue that it does not exist"*[117] (Heyes, 2002, p.28).

L'argument selon lequel il n'y a pas de subvention de couverture tant que l'accident ne se produit pas est donc un non-sens. Il y a subvention à chaque fois que coexistent défaut d'internalisation et réalisation possible du risque, autrement dit, à chaque période de temps de l'activité de l'exploitant. Par ailleurs, plusieurs autorités publiques reconnaissent explicitement que cette subvention existe. Si en France ou en Europe cette reconnaissance n'existe quasiment pas, c'est aux Etats-Unis que l'on trouve le plus de textes à ce sujet. Déjà en 1983, la NRC américaine reconnaissait, sans la quantifier, que la limite de RC mise en place par le *Price-Anderson Act* (présenté dans le chapitre 1) était suffisamment significative pour constituer une subvention : *"the subsidy is real but any estimate of its magnitude with respect to any period is open to criticism"*[118] (US NRC, 1983, p G-12). En 1999, l'EIA parlait de cette limite de RC comme *"a Federal regulation that continues to have a cost-reducing effect on the nuclear power industry (…). This limit provides a subsidy to the nuclear industry to the*

---

[115] *"C'est incohérent, à mon avis. L'industrie nucléaire reçoit une subvention pour tous les trimestres où elle n'a pas à contracter une assurance pour couvrir l'intégralité du risque associé à son activité"*.

[116] Par "*government*", Heyes ne désigne pas la prise en charge de l'Etat d'une part du risque mais le fait que le plafond de RC de l'exploitant nucléaire a pour origine une réglementation gouvernementale. Pour le cas des pays européens, on pourrait traduire alors "*government*" par "les rédacteurs des Conventions".

[117] *"Si le gouvernement me proposait de prendre en charge ma facture d'assurance automobile, cela m'aiderait financièrement (par définition, une subvention), que j'ai ou non un accident (…). Nous pouvons discuter du montant de la subvention, de ses implications en termes d'incitations ou de sa durée. Mais nous ne pouvons remettre en cause son existence"*.

[118] *"La subvention est réelle mais toute évaluation de son ampleur pour toute période de temps est ouverte à la critique"*.

extent that insurance premiums paid by the operators of individual plants are reduced"[119] (EIA, 1999, p.42).

Quant aux indemnisations étatiques ***I***, elles ne sont pas, au sens strict, des subventions à l'industrie. Par ces indemnisations complémentaires, l'Etat et les Etats contractants payent une partie des réparations que l'exploitant nucléaire n'a pas à payer. Ils contribuent ainsi directement au défaut d'internalisation des coûts de risque par l'exploitant puisqu'ils interviennent *ex nihilo* à sa place. Néanmoins, ces aides étatiques ne sont pas des subventions car les bénéficiaires directes sont les victimes des accidents nucléaires et non l'exploitant. Le transfert de richesse s'effectue non pas entre les Etats et l'industrie mais entre les Etats et les victimes. Elles n'influencent donc pas le montant de la subvention implicite ***S*** (voir Figure 9). Au mieux, on peut dire que, pour les exploitants, elles sont des traitements de faveur.

L'existence d'une subvention implicite de couverture du risque nucléaire en faveur de l'exploitant est donc indiscutable. Dans la littérature économique, quelques travaux ont traité de cette question, tâchant d'évaluer le niveau de la subvention. Que nous enseignent ces travaux ? Sur quelles hypothèses les modèles d'évaluations se fondent-ils ?

2.1.2. L'analyse de la littérature : vers une nouvelle grille de lecture

Au début des années 1970, puis, plus activement, dans les années 1990, l'existence d'une subvention de couverture du risque nucléaire a fait l'objet de plusieurs analyses et tentatives d'évaluations. Etant donné les caractéristiques spécifiques du risque, ce problème nécessite une grille de lecture particulière. Bien que ce type de subvention implicite soit reconnu par les autorités nucléaires aux Etats-Unis, il y a, à ce jour, peu de travaux sur le sujet dans le milieu professionnel ou académique (2.1.2.1). De plus, ces travaux souffrent, pour la plupart, soit d'ancienneté, soit de méthodologies opaques qui en affaiblissent la pertinence. Une nouvelle grille de lecture est donc nécessaire (2.1.2.2).

2.1.2.1. Les évaluations existantes : intérêt et limites

Les travaux existants sur le sujet sont de deux types. La première catégorie, assez générale, traite des coûts externes de la production d'énergie nucléaire en termes de dommages.

[119] *"une réglementation fédérale qui continue de réduire les coûts de l'industrie nucléaire (…). Cette limite procure une subvention à l'industrie nucléaire dans la mesure où les primes d'assurance payées par les exploitants de centrales sont amoindries".*

La seconde catégorie de travaux examine la part de ces coûts externes qui fait l'objet, strictement parlant, d'une subvention implicite.

Les évaluations de coûts externes de l'énergie nucléaire ne traitent pas directement de la subvention de couverture discutée ici. Toutefois, un détour par leur présentation est nécessaire. Ces évaluations permettent de calculer les coûts de la production d'énergie nucléaire en termes de dommages aux tiers. Ce calcul est une première étape indispensable à l'évaluation de la subvention de couverture. Un coût externe est un coût généré par l'activité de production ou de consommation d'un agent économique et qui est supporté par la société, et non pas cet agent. Il existe, dans le monde, plusieurs évaluations de ces coûts pour l'industrie nucléaire. En Europe, celles qui font référence en la matière sont les études ExternE, dont les principaux développements méthodologiques ont été finalisés en 1995 (Drecier *et alii*, 1995 ; Spadaro et Rabl, 1998 ; Schneider et Schieber, 2002). ExternE, qui calcule également les coûts externes des autres filières énergétiques, utilise une méthodologie en deux étapes. Premièrement, différents scénarios possibles d'accidents nucléaires sont déterminés, par ordre croissant de gravité. Un scénario se définit comme une séquence d'événements aboutissant à un accident nucléaire. Il s'agit des termes sources (ST) mentionnés dans le chapitre précédent[120]. Chaque scénario correspond à un accident plus ou moins grave. A chacun d'eux sont attribués une probabilité de réalisation et un coût. Ce coût représente la valeur monétaire des conséquences d'un accident nucléaire. De là, ExternE calcule le coût externe nucléaire correspondant à chaque scénario d'accident selon une formule simple : en multipliant le coût d'un accident par sa probabilité d'occurrence. Cette méthode est celle de l'espérance mathématique.

Concernant les scénarios de rejets et les probabilités conditionnelles utilisées, les études ExternE s'appuient sur les données du rapport AEN/CE (1994)[121] présenté dans le chapitre 1. Dans la méthodologie générale, la probabilité de fusion du cœur du réacteur retenue est celle de l'EPS de 1990 de la NRC : 5.10^{-5} (USNRC, 1990). ExternE aboutit alors aux résultats suivants :

[120] Pour mémoire : le scénario ST23 correspond à des accidents de faible ampleur avec des rejets radioactifs de 0,1% de gaz rares (hélium, néon, ...) et 0,01% d'éléments les plus volatiles (césium, iode, strontium). Les scénarios ST22, ST21 et ST2 correspondent à des accidents majeurs. Ils impliquent respectivement des rejets de 1%, 10% et 100% de gaz rares et 0,1%, 1% et 10% des éléments les plus volatiles.

[121] Rappelons que ce rapport met en évidence quatre scénarios d'accident, dits "termes sources" (ST), en fonction de leur gravité croissante : un scénario alternatif et trois scénarios exclusifs. Les probabilités conditionnelles attribuées à ces scénarios sont respectivement 0,81 et 0,19. Ces probabilités correspondent à la probabilité qu'après la fusion du cœur du réacteur nucléaire, des rejets radioactifs soient émis dans l'atmosphère et causent des dommages aux tiers. Voir chapitre 1, p. 78.

	Termes sources ST	Probabilité de fusion du cœur du réacteur (/réacteur/an)	Probabilité conditionnelle (/réacteur/an)	Coût total d'un accident (millions €)	Coût externe/réacteur /an (€) (coût total x probabilités)	Coût externe* (€/kWh)
Accident de faible ampleur	ST23	5.10^{-5}	0,81	431	17000	0,0000023
Accidents majeurs	ST22	5.10^{-5}	0,19	3339	32000	0,0000042
	ST21	5.10^{-5}	0,19	17093	162000	0,000021
	ST2	5.10^{-5}	0,19	83252	790000	0,000104

* pour une production d'électricité de 7,6TWh/réacteur/an pour les termes sources d'un réacteur de 1200MWe
Source : Schneider et Schieber (2002), p. 35.

Tableau 8. Coût externe d'un accident nucléaire selon la méthodologie générale ExternE

Dans son implémentation française, le scénario de référence et la probabilité retenus sont ceux de l'EPS française de 1990 : ST21 et 10^{-5} (IRSN/EDF, 1990 ; Dreceir *et alii*, 1995). Les résultats sont les suivants :

	Termes sources ST	Probabilité de fusion du cœur du réacteur (/réacteur/an)	Probabilité conditionnelle (/réacteur/an)	Coût total d'un accident (millions €)	Coût externe/réacteur /an (€) (coût total x probabilités)	Coût externe* (€/kWh)
Accident majeur	ST21	10^{-5}	0,19	17093	32500	0,00000464

*pour une production d'électricité de 7TWh/réacteur/an[122] pour les termes sources d'un réacteur de 1300MWe
Source : Schneider et Schieber (2002), p.36.

Tableau 9. Coût externe d'un accident nucléaire selon la méthodologie ExternE pour la France

Ainsi, la méthodologie ExternE permet d'évaluer le coût externe d'un accident nucléaire comme un coût espéré non internalisé. Il est donc la perte que la société peut vraisemblablement s'attendre à subir à la suite d'un accident. La différence entre le coût total d'un accident (4ème colonne) et le coût externe (cinquième et sixième colonnes) est le fait que le second, en tant que coût espéré, est calculé à partir d'une vraisemblance de réalisation, à l'aide de probabilités. Le premier, en revanche, est un coût absolu[123]. La prise en compte d'un coût externe *espéré* révèle donc une volonté des évaluateurs de fournir une évaluation réaliste en proposant des résultats plausibles plutôt qu'absolus qui pourraient être moins crédibles.

Néanmoins, la question n'est pas de savoir s'il faut raisonner en termes espérés ou en termes absolus. L'intérêt de présenter ces évaluations de coûts externes est de montrer dans quelle mesure elles sont intrinsèquement liées à notre objet d'étude : la subvention de couverture du risque nucléaire. Les études ExternE ressemblent fortement à l'évaluation du coût de couverture du risque. En particulier, le calcul d'un coût espéré ressemble à celui d'une

[122] 1TWh = 1000 GWh = 1 000 000 MWh = 1 000 000 000 kWh
[123] Le chapitre 1 a montré que le coût total d'un accident nucléaire comprend des coûts directs (décontamination des sols, évacuation des populations…) et indirects (perte de revenu, maladies héréditaires…).

prime d'assurance[124]. Et le calcul d'un coût espéré externe à celui de la prime d'assurance que l'exploitant devrait payer pour les coûts du risque qu'il n'internalise pas. A cet égard, le coût calculé par ExternE pourrait être interprété comme le coût de couverture non pris en charge par l'exploitant nucléaire, et par là, être assimilé à une subvention de RC.

Toutefois, cette assimilation s'arrête là. Les études ExternE ne vont pas assez loin pour correspondre convenablement à notre objet d'étude. Parmi les coûts externes calculés, elles ne prennent pas en compte la part prise en charge par l'exploitant du fait de sa RC. Elles considèrent que les dommages d'un accident nucléaire sont tous une externalité au sens strict. Le coût que calcule ExternE n'est donc pas *stricto sensu* un coût externe puisqu'il comprend un coût internalisé (correspondant au plafond de RC de l'exploitant) et un coût non internalisé (correspondant aux coûts strictement externes). Par conséquent, si l'on veut calculer le véritable coût externe de l'énergie nucléaire en reprenant la méthodologie d'ExternE, on doit ôter au coût total d'un accident le plafond de RC de l'exploitant (aujourd'hui de 91 millions €). On construit alors pour les quatre scénarios de référence et pour le cas français :

	Termes sources ST	Probabilité d'accident (/réacteur/an)	Coût total d'un accident (millions €)	Coût internalisé par l'exploitant (millions €)	Coût non internalisé par l'exploitant (millions €)	Coût externe /réacteur/an (coût non internalisé x probabilité) (€)	Coût externe /réacteur/an (€/kWh)
Accident de faible ampleur	ST23	10^{-5}. 0,81	431	91	340	2800	0,0000004
Accidents majeurs	ST22	10^{-5}. 0,19	3339	91	3248	6200	0,0000009
	ST21	10^{-5}. 0,19	17093	91	17002	32300	0,00000461
	ST2	10^{-5}. 0,19	83252	91	83161	158000	0,000023

Tableau 10. Véritable coût externe nucléaire selon la méthodologie ExternE pour la France

De ce tableau, un calcul de la subvention de couverture pourrait être désormais réalisé. Les chiffres de la sixième colonne peuvent, en effet, être considérés comme la prime d'assurance (ramenée à son calcul le plus basique) que l'exploitant devrait payer en plus pour couvrir l'intégralité de ses coûts du risque. Ces chiffres seraient évidemment à multiplier par le nombre de réacteurs de l'exploitant (cinquante-huit pour le cas de la France) pour obtenir la subvention totale. Cependant, cette déduction de la subvention est très rudimentaire et n'est pas satisfaisante pour plusieurs raisons. Ces raisons sont évoquées dans le sous-paragraphe suivant où une nouvelle grille de lecture est proposée.

[124] Le paragraphe suivant montre, en effet, que le calcul d'une prime d'assurance est traditionnellement basé sur le calcul de l'espérance mathématique du coût de la réalisation du risque concerné.

Concernant la seconde catégorie de travaux, ils traitent plus directement de l'évaluation de la subvention de couverture du risque nucléaire. On en compte aujourd'hui seulement six tentatives. Trois sont issues du secteur énergétique ou assuranciel ou des autorités publiques (Denenberg, 1974 ; GAO, 1975 ; EIA, 1992) et trois sont des évaluations d'origine académique (Dubin et Rothwell, 1990 ; Heyes et Liston-Heyes, 1998, 2000b). Outre leur rareté, toutes ces évaluations concernent exclusivement les Etats-Unis ou le Canada.

La première évaluation d'origine professionnelle date de 1974 et a été faite par Denenberg, un commissaire en assurance en Pennsylvanie aux Etats-Unis. Son évaluation aboutissait à un montant de subvention de 23,5 millions $US/réacteur/an (Denenberg, 1974). Si son approche a le mérite d'être pionnière, elle est néanmoins un peu élémentaire. En effet, cette prime est simplement le résultat d'une espérance mathématique avec la prise en compte d'une seule probabilité discrète, celle des accidents majeurs. Aucune différenciation n'est faite entre cette probabilité et celle des accidents de plus faible ampleur. Aucune probabilité conditionnelle n'est retenue non plus. En bref, au niveau méthodologique, le calcul de Denenberg revient au calcul du coût externe d'ExternE et est réduit à un seul scénario (le plus pessimiste, ST2). Cette première évaluation n'a pas trouvé de véritable écho.

La deuxième évaluation professionnelle émane du *General Accounting Office* (GAO) et a été effectuée, également pour les Etats-Unis, en 1975. Pour calculer la subvention de RC des exploitants nucléaires américains, le GAO a estimé les coûts additionnels d'assurance qu'ils devraient subir en l'absence du plafond de RC du *Price-Anderson Act* en extrapolant les primes d'assurance de l'époque. Le montant de la subvention ainsi calculé était compris entre 317 000 $US/réacteur/an et 403 000 $US/réacteur/an (GAO, 1975), selon le nombre de réacteurs exploités sur chaque site. La méthode exacte n'est cependant pas détaillée dans le rapport. Par ailleurs, étant donné l'ancienneté de cette évaluation, il est évident qu'elle ne reflète plus aujourd'hui les réels coûts d'assurance. Les coûts ont fortement augmenté depuis, en particulier après les attentats du 11 septembre 2001.

La troisième et dernière évaluation professionnelle a été faite par l'*Energy Information Agency* (EIA) en 1992, encore pour les Etats-Unis, en reprenant les travaux académiques effectués en 1990 par Dubin et Rothwell (présentée ci-après) sans y apporter de changement autre qu'une revalorisation monétaire. Pour les 110 réacteurs exploités à l'époque, le résultat de l'évaluation donnait une subvention de 3,05 milliards $US/an (EIA, 1992).

Ainsi, les évaluations publiques ou professionnelles de la subvention implicite de couverture du risque nucléaire se caractérisent par un certain flou méthodologique et sont anciennes.

Quant aux évaluations académiques, elles sont aussi très peu nombreuses. On en dénombre aujourd'hui trois : Dubin et Rothwell (1990) pour les Etats-Unis et Heyes et Liston-Heyes pour les Etats-Unis (1998) et le Canada (2000a, 2000b). Ces travaux font néanmoins référence à la fois parce qu'ils sont uniques et (surtout) innovants par rapport à la littérature existante. En effet, ils sont les premières tentatives d'évaluation à caractère scientifique menées sur la question. D'approche formelle, leur méthodologie est transparente et détaillée. Ces évaluations s'appuient toutes trois sur le même type de modèle numérique. Le modèle pionnier de Dubin et Rothwell (1990) est repris par Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000a, 2000b) qui y apportent certains changements. Notre propre évaluation s'appuiera sur le modèle modifié de Heyes et Liston-Heyes qui sera à nouveau affiné[125]. Leurs résultats sont en revanche contrastés.

L'évaluation de Dubin et Rothwell (1990) s'appuie sur celle de Denenberg (1974) et aboutit à un montant de subvention américaine de 22 millions $US/réacteur/an (en prenant en compte les amendements du *Price-Anderson Act* de 1988 qui augmente le montant de couverture de 560 millions $US/accident à 7 milliards $US/accident).

Celles de Heyes et Liston-Heyes donne un montant de 2,3 millions $US/réacteur/an pour les Etats-Unis (1998) et un montant compris entre 0,67 millions $CA/réacteur/an et 208,35 millions $CA/réacteur/an pour le Canada (2000a, 2000b). La large amplitude de cet intervalle vient du fait que Heyes et Liston-Heyes (2000a, 2000b) calculent la subvention de RC des exploitants nucléaires canadiens selon cinq scénarios dont les extrêmes sont très dispersés. L'évaluation canadienne de Heyes et Liston-Heyes a pour mérite d'être la première évaluation hors Etats-Unis.

Ces évaluations académiques ont le mérite d'être pionnières et sont avant tout expérimentales. Leur contenu et apport scientifique sont indéniables mais elles sont sensibles à leurs hypothèses et comportent des limites. D'une part, les calculs sont parfois approximatifs (erreur de dérivée) et la méthodologie ne retient pas de probabilités conditionnelles. D'autre part, ces travaux se concentrent encore exclusivement sur l'Amérique du Nord. Les améliorations que nous apporterons au modèle de Heyes et Liston-Heyes auront précisément pour but de réduire ces limites.

[125] Ce modèle est présenté en détail dans la sous-section 2.2.

Eu égard aux études existantes, une évaluation plus juste et plus internationale de la subvention implicite de couverture du risque nucléaire est nécessaire. Leurs faiblesses appellent donc à une nouvelle grille de lecture.

2.1.2.2. Une nouvelle grille de lecture

La nouvelle grille de lecture proposée s'articule autour des quatre points suivants.

▪ Depuis les attentats du 11 septembre 2001 et les catastrophes de ces dernières années (Erika 1999, AZF 2001, Katrina, 2005, etc.), les marchés de l'assurance font face à un nouvel environnement. Ces événements tragiques ont fait prendre conscience de nouveaux risques, à la fois catastrophiques, brutaux et imprévisibles. Depuis, les coûts assuranciels ont fortement augmenté pour ces risques spéciaux et la question de l'efficacité de leur couverture se pose avec plus d'acuité. Dans un tel contexte, la perspective que certains risques ne soient pas suffisamment couverts et que certains industriels bénéficient de régimes de faveur à cet égard est de plus en plus décriée. Le risque nucléaire est parmi les premiers à être visé par cette remise en cause. Aux Etats-Unis, malgré certains travaux pionniers et la reconnaissance par les Autorités de ce type de subvention, le débat peine à se mettre en place. Quant à l'Europe, alors que, d'un côté, l'UE a réaffirmé début 2007 son soutien à l'énergie nucléaire, de l'autre, aucune étude n'est menée pour en évaluer la subvention de couverture du risque. Aucun travail de ce type n'a non plus été fait pour un pays membre des Conventions AEN/OCDE. Pourtant, l'Europe est le continent le plus nucléarisé du monde avec 144 réacteurs nucléaires, au premier rang desquels la France domine avec cinquante-huit réacteurs. De plus, au sein de l'UE, treize pays sont membres des Conventions AEN/OCDE et bénéficient donc d'une limite de RC[126]. Ce travail se propose donc, de manière inédite, d'évaluer la subvention implicite de couverture du risque nucléaire pour l'Europe, en prenant la France comme exemple représentatif.

▪ De là, quels éléments méthodologiques nouveaux la nouvelle grille de lecture comprend-elle? Tout d'abord, elle présente deux différences par rapport aux évaluations de coûts externes présentées plus haut.

[126] Excepté l'Allemagne qui, nous l'avons vu dans le chapitre 1, a mis en place une RC illimitée pour ses exploitants nucléaires.

La première est que l'assimilation entre le coût externe d'un accident nucléaire tel qu'il est calculé par ExternE et la subvention de couverture de l'exploitant est un peu réductrice. En effet, nous avons vu que dans ExternE, le coût externe est calculé sur la seule base d'une espérance mathématique. S'il est vrai que le coût de couverture d'un risque (représenté par la prime d'assurance) a pour composante principale le coût espéré de la réalisation de ce risque, il inclut cependant aussi la plupart du temps au moins deux autres éléments : les coûts de gestion de l'assureur et une prime d'aversion au risque. Les coûts de gestion de l'assureur (appelés *loading costs*) sont les frais qu'il subit du fait de son activité. Ils sont ses dépenses internes. Ils comprennent aussi bien les coûts de gestion des sinistres (charges administratives, gestion des dossiers) que la rémunération de son personnel (apporteurs, agents généraux ou courtiers). Quant à la prime d'aversion au risque (appelée "prime de risque"), elle est une surprime incluse dans la prime d'assurance par l'assureur, en plus du coût espéré de l'accident, pour couvrir un risque dont les probabilités de réalisation sont incertaines. Cette surprime traduit une crainte de l'assureur à couvrir ce risque. Elle a pour rôle de parer une éventuelle sous-estimation des probabilités d'accident. Etant donné que les probabilités d'accident nucléaire sont elles-mêmes incertaines, il est très vraisemblable que l'assureur présente une aversion au risque nucléaire. Traditionnellement, les assureurs sont présentés, dans la littérature, comme neutres face au risque. Or, concernant les risques catastrophiques, ce qui révèle en particulier qu'ils sont averses à ces risques, c'est qu'ils font de plus en plus appel à la réassurance (Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006)[127]. Ainsi, les coûts de gestion de l'assureur et la prime de risque sont traditionnellement ajoutés au coût espéré de la réalisation du risque pour constituer la prime d'assurance. Par conséquent, l'évaluation proposée ici les intégrera dans le calcul. Si les travaux de Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) prennent en compte les coût de gestion de l'assureur, ils ne retiennent pas de prime de risque. L'intégration de cette dernière dans notre évaluation constitue l'une des améliorations méthodologiques apportées à leur modèle.

La seconde différence entre notre évaluation et ExternE vient du fait qu'elles ne se situent pas au même niveau de calcul. ExternE est évaluée en valeur discrète. Cela signifie qu'une seule valeur du coût d'un accident est prise en compte dans le calcul du coût externe de chaque scénario au lieu d'un ensemble de valeurs. L'évaluation de Denenberg (1974) est basée sur le même principe. Par exemple, pour le scénario ST21 d'ExternE, la seule valeur prise en compte pour le coût total maximum d'un accident nucléaire (coût d'un accident majeur) est 17093 millions €. Or, si l'on cherche à calculer, pour le même scénario, le coût de couverture

[127] Ce point est illustré dans le chapitre 4.

dont l'exploitant est soulagé par les Conventions de RCN, il faut prendre en compte l'ensemble des valeurs du coût d'un accident entre le plafond de RC et le coût (maximum) d'un accident majeur. En ne considérant que le coût d'un accident majeur, ces études sont incomplètes car elles omettent l'évaluation d'une part entière du coût espéré non internalisé par l'exploitant : celle située entre le plafond et ce coût maximum. Dès lors, notre évaluation calculera le coût de couverture non pris en charge par l'exploitant non pas en valeur discrète mais en valeur continue. Elle suivra à cet égard les modèles de Dubin et Rothwell (1990) et de Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b). Mathématiquement, cela se traduit par un calcul sous forme d'intégrale. Nos résultats seront donc naturellement plus élevés que ceux d'ExternE. Nous ne prétendons pas que, dans la réalité, l'assureur nucléaire utilise effectivement ce niveau de calcul pour déterminer sa prime puisque nous n'avons pas accès nous-mêmes à son calcul précis. L'exercice consiste plutôt à émettre des hypothèses aussi réalistes que possible sur ce calcul, étant donné les caractéristiques du risque nucléaire ; puis, à en déduire la subvention implicite. Cette dernière est donc calculée par construction. Cette démarche particulière rencontrera des difficultés de modélisation qui seront traitées dans la sous-section 2.2.

▪ De plus, par rapport au travail pionnier de Dubin et Rothwell (1990), notre évaluation suivra les modifications apportées par Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b). Les travaux de Heyes et Liston-Heyes s'inspirent très largement de la méthodologie des premiers. Toutefois, ils relèvent une erreur d'interprétation dans leur modèle qui est fondamentale pour le calcul. Cette erreur porte sur le contrat d'assurance des exploitants nucléaires américains. Pour présumer du calcul de la prime d'assurance nucléaire, Dubin et Rothwell (1990) prennent en compte uniquement les dommages compris entre 1 million $US (montant en-dessous duquel ils ne considèrent pas les dommages comme étant significatifs) et le plafond de RC des exploitants. Ils considèrent par là que si le coût d'un accident nucléaire est inférieur ou égal au plafond de RC, l'assureur de l'exploitant en cause paiera les dommages compris entre 1 million $US et le plafond. En revanche, si l'accident coûte plus que le plafond de RC, l'assureur n'interviendra pas. Or, d'après les Conventions de RCN (et le contrat d'assurance), même lorsque le coût de l'accident dépasse le plafond, l'assureur doit payer l'équivalent de ce plafond. Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) intègrent donc cette réinterprétation du contrat d'assurance dans le modèle de Dubin et Rothwell (1990). Cette réinterprétation se traduit par des modifications dans le calcul de la prime. Ces modifications sont examinées dans la sous-section 2.2. suivante. Cette réinterprétation explique aussi la grande différence entre leurs résultats respectifs : les corrections de Heyes et Liston-Heyes (1998) ont eu pour conséquence

de réduire sensiblement (d'un facteur 10) le montant de la subvention de RC américaine. Leur évaluation de la subvention pour le Canada (2000b) a également été effectuée à partir du modèle corrigé. Nous ferons subir à notre tour quelques modifications à ce modèle pour l'adapter au cas français.

▪ Enfin, la contribution de ce travail consiste aussi en une évaluation de la subvention de RCN pour un pays européen, membre des Conventions AEN/OCDE, avant et après les amendements de 2004 (étudiés dans le chapitre 1). Ces amendements entreront en vigueur prochainement et auront des implications importantes en termes de coût de couverture du risque.

Pour conclure, la nouvelle grille de lecture proposée ici se différencie des études existantes. S'en éloignant de certaines et s'en inspirant d'autres, elle va ainsi offrir un modèle d'évaluation mieux adapté au problème traité.

2.2. Une tentative d'évaluation de la subvention de RCN : le cas de la France

L'évaluation de la subvention de RCN des exploitants a un double intérêt. Tout d'abord, elle présente un intérêt économique puisqu'elle permet de mesurer l'impact du plafond de RC sur les coûts de l'exploitant nucléaire. L'examen de cet impact est d'autant plus important que l'énergie nucléaire est aujourd'hui parmi les énergies les plus compétitives. Ensuite, l'évaluation de la subvention de RCN présente un intérêt politique. En effet, en ratifiant les Conventions AEN/OCDE, les Etats nucléarisés ont fait un choix politique : celui de protéger une industrie. Par conséquent, l'évaluation du montant de la subvention de RCN permet aussi de juger du niveau de cette protection, et de là, de la légitimité de ce choix.

L'évaluation de la subvention de RCN des exploitants des pays européens, membres des Conventions AEN/OCDE, prendra appui sur le cas français. Ce cas est particulièrement intéressant parce que, proportionnellement à sa production d'énergie totale, la France est le pays dont le nucléaire représente la plus grande part au monde (80% avec cinquante-huit réacteurs). Par ailleurs, elle est l'un des premiers pays à avoir ratifié les Conventions de RCN, en 1968. A ce titre, comme pour les autres parties contractantes, la RC de ses exploitants est financièrement limitée. En ce qui concerne la production, la France a un unique exploitant nucléaire : EDF. Le cas français n'est cependant pas spécifique. L'exploitant EDF est soumis aux mêmes Conventions que les autres pays nucléarisés d'Europe. Le cas français est utilisé

comme exemple représentatif de la situation de ces pays. Les modalités de calcul et les hypothèses seraient donc les mêmes pour les autres pays. Seul le montant de subvention serait variable. En effet, étant donné que la subvention de RCN est liée au niveau du plafond de RC des exploitants, et que ce plafond diffère selon les législations en vigueur dans les pays, la subvention implicite dont bénéficient les exploitants serait donc différente d'un pays à l'autre. Néanmoins, l'évaluation pour la France aura une valeur indicative forte pour ces pays et les résultats auront donc aussi des implications pour eux. Comme mentionné plus haut, le modèle présenté ici s'appuie sur la méthodologie de Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b). Comme eux, le choix est fait d'utiliser un modèle numérique basé sur des techniques d'ajustement de courbes de données. Ces données concernent les probabilités d'accidents nucléaires, les coûts des accidents majeurs et la prime d'assurance. En premier lieu, les hypothèses du modèle seront analysées et justifiées (2.2.1). En second lieu, le modèle lui-même sera présenté, incorporant les améliorations méthodologiques apportées (2.2.2).

2.2.1. Les hypothèses du modèle d'évaluation

Le but de l'exercice est de déduire une évaluation pour le montant de couverture que l'exploitant nucléaire devrait subir en l'absence de son plafond de RC. La technique employée consiste en une extrapolation de la prime d'assurance que l'assureur exige actuellement de l'exploitant pour ce plafond. Nous rappelons que le modèle est basé, non pas sur la véracité du calcul de la prime d'assurance, puisque nous n'y avons pas accès nous-mêmes, mais sur des hypothèses réalistes de calcul. Ce travail repose sur la logique suivante : on sait ce que l'assurance coûte à l'assureur et on connaît la prime qu'il reçoit aujourd'hui pour la couverture du plafond d'EDF. On ne connaît pas les modalités exactes du calcul de cette prime mais des hypothèses raisonnables nous permettent de reconstruire le calcul de la prime par l'assureur. De là, la subvention de couverture du risque nucléaire pourra être inférée.

Ce travail se place donc exclusivement du côté de l'assureur et a pour objectif de répondre à la question suivante : si l'exploitant nucléaire devait couvrir l'intégralité de ses coûts du risque, quelle serait la prime que son assureur exigerait de lui ? Le différentiel positif entre cette prime et la prime actuelle constitue la subvention implicite de couverture. La formule qui aboutit au calcul de cette prime (2.2.2.1) ainsi que les hypothèses du modèle (2.2.2.2) sont donc à déterminer.

2.2.1.1. Le calcul de la prime d'assurance : hypothèses générales

Comme le premier chapitre l'a montré, lorsque un assureur calcule sa prime, il calcule en premier lieu les pertes espérées consécutives à la réalisation du risque qu'il couvre. Il s'agit de la forme la plus élémentaire de la prime d'assurance. Dans ce travail, les pertes sont représentées par les dommages d'un accident nucléaire. Comme déjà mentionné plus haut, le calcul des dommages espérés se réduit au calcul de l'espérance mathématique des dommages. Si on note ***E(x)*** cette espérance, ***x*** le coût d'un accident (ou dommage) nucléaire et ***p*** sa probabilité d'occurrence, la formule élémentaire de la prime d'assurance, notée ***P***, est alors égale à :

$$\boldsymbol{P = E(x) = x.p} \qquad (1)$$

$\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{X} =]0, \boldsymbol{D}]$, ***X*** étant l'ensemble des valeurs monétaires que peut prendre le coût d'un accident nucléaire. La prime, réduite à l'espérance mathématique des pertes, est appelée communément la prime "indicative" ou prime "pure". La borne supérieure ***D*** représente le coût d'un accident nucléaire majeur[128]. Comme dans l'industrie nucléaire la RC de l'exploitant est plafonnée, si le dommage total ***x*** d'un accident est supérieur au plafond, la prime ***P*** ne couvre alors qu'une partie de ***x***, égale à ce plafond. On note cette partie (ce plafond) $\boldsymbol{x_p} < \boldsymbol{x}$, avec $\boldsymbol{x_p} \in \boldsymbol{X}$. L'équation (1) devient :

$$\boldsymbol{P = E(x_p) = x_p.p} \qquad (2)$$

A partir de là, plusieurs hypothèses et amendements doivent être apportés à cette formule pour l'adapter à notre problème. Ces hypothèses portent successivement sur le niveau de calcul de la prime (forme de l'équation (2)), sur les probabilités (***p***) et enfin sur le coût des accidents majeurs (***D***). On les note respectivement H1, H2 et H3.

H1 : Un calcul en valeur continue.

Conformément à notre distinction vis-à-vis des études existantes, il est plus pertinent d'effectuer le calcul des dommages espérés d'un accident nucléaire en valeur continue qu'en valeur discrète. Il est en effet plus juste de prendre en compte un intervalle de dommages (*"a range of losses"*), comme l'ont, par ailleurs, aussi choisi Dubin et Rothwell (1990) et Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b), plutôt qu'un seul dommage considéré comme maximal (*"a point*

[128] Bien sûr, on peut supposer que le coût d'un accident majeur ***D*** puisse tendre vers $+\infty$. Toutefois, étant donné que les EPS donnent des estimations de ce coût (voir l'hypothèse H3 plus bas et le chapitre 1), le choix est fait de borner l'intégrale avec les valeurs estimées. Ces valeurs doivent alors être comprises comme le coût minimum d'un accident majeur. Cela sous-entend que les accidents majeurs coûtent au moins ***D***. Cette hypothèse se retrouve dans l'équation (14) plus bas, paragraphe 2.2.2.

loss"). Calculer l'espérance mathématique des dommages avec l'équation (2) supposerait soit que l'assurance ne couvre que les dommages égaux au plafond x_p, soit que les accidents nucléaires ne peuvent coûter que x_p. Or, le coût d'un accident nucléaire appartient à l'intervalle X =]0,D] avec $0 < x_p \leq D$. Qu'en est-il alors de la couverture des dommages compris entre 0 et x_p ? La limite de RC de l'exploitant engage celui-ci pour les dommages pouvant s'élever *jusqu'à* x_p. Par conséquent, l'intervalle de dommages pour lequel l'exploitant est tenu pour responsable est [0 ; x_p] et non pas la seule valeur x_p. L'intégration de cet intervalle dans l'équation (2) permet de calculer les dommages espérés en valeur continue. On obtient :

$$P = E(x_p) = \int_0^{x_p} x.p \; dx \qquad (3)$$

Le dommage x devient alors une variable aléatoire. Ce niveau de calcul en continu est adopté par Dubin et Rothwell (1990) et Heyes et Liston-Heyes[129] (1998, 2000b). Cependant, comme mentionné plus haut, Heyes et Liston-Heyes (1998) offre une réinterprétation du contrat d'assurance nucléaire plus pertinente, qui sera reprise ici. Ainsi, si l'équation (3) est pertinente dans sa forme, elle est incomplète. Elle suppose que l'exploitant nucléaire couvre sa RC pour des dommages inférieurs ou égaux à son plafond et rien au-delà. Or, bien que sa RC soit effectivement limitée à x_p, cela signifie toutefois que l'assureur paie toujours x_p, même si le coût de l'accident excède cette valeur. x_p est une limite financière et non une limite d'intervention. Au-delà, l'Etat et les autres pays contractants complètent l'écart $x - x_p$, dans la limite de leurs obligations. L'équation (3) doit donc être réécrite pour prendre en compte cette disposition du contrat. Elle est valable pour toutes les valeurs de x comprises entre x_p et D. L'équation (3) devient alors :

$$P = \int_0^{D} \min\{x, x_p\}.p\,dx = \int_0^{x_p} x.p \; dx + \int_{x_p}^{D} x_p.p\,dx \qquad (4)$$

[129] Notons que la borne inférieure de l'intégrale est, chez Dubin et Rothwell (1990) comme chez Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000a, 2000b), égale à 1 et non à 0. Les auteurs justifient ce choix par le fait que seuls les événements dont le coût est supérieur ou égal à 1ml€ sont considérés comme "significatifs". Nous considérons qu'à partir du moment où l'assureur couvre les dommages dès le premier centime d'euro jusqu'au plafond de RC, il n'est pas justifié que la borne inférieure de l'intégrale soit supérieure à 0.

De là, une nouvelle hypothèse doit être émise concernant ***p***. En effet, la forme intégrée de l'équation (4) suppose que ***p*** n'est pas constant quelque soit le dommage ***x*** mais au contraire que ***p*** est une densité de probabilités. Une densité de probabilité d'une variable ***x*** réelle et continue est une fonction réelle positive ou nulle intégrable sur $\Re$ et vérifiant : $\int_{\Re} f(x)\,dx = 1$. La probabilité $p\ (y < x < z)$ est alors égale à : $\int_{y}^{z} f(x)\,dx$. Ainsi, la fonction de densité de probabilité ***f(x)*** traduit le fait que ***p*** varie avec ***x***. Comme ***x, p*** est alors une valeur continue. L'équation (4) devient :

$$P = \int_{0}^{x_p} x.f(x)dx + \int_{x_p}^{D} x_p.f(x)dx \qquad (5)$$

A toute fonction de densité ***f(x)*** correspond une distribution (ou loi) de probabilités qui décrit la répartition des probabilités en fonction du dommage ***x***. Dans le cas de la prime d'assurance nucléaire, quelle distribution de probabilités choisir ?

H2 : Une distribution de probabilité log-logistique.

C'est l'hypothèse centrale du modèle. Les probabilités prennent une importance cruciale dans les évaluations des accidents nucléaires. Le chapitre premier a montré qu'elles sont difficiles à évaluer car le risque nucléaire est encore empreint d'incertitudes endogènes et exogènes. Par conséquent, les évaluations des probabilités d'un accident nucléaire se basent aujourd'hui très peu sur l'observation et sont déduites principalement de modèles construits depuis les années 1960 : les EPS. Pour résumer, nous rappelons que ces EPS aboutissent aux deux résultats suivants (EDF/IRSN, 1990 ; AEN/CE, 1994 ; Schneider et Schieber, 2002) :

▪ une probabilité de fusion du cœur du réacteur parmi trois valeurs $p_i = \{10^{-6} ; 10^{-5} ; 10^{-4}\}$ /réacteur/an avec $i = \{1, 2, 3\}$

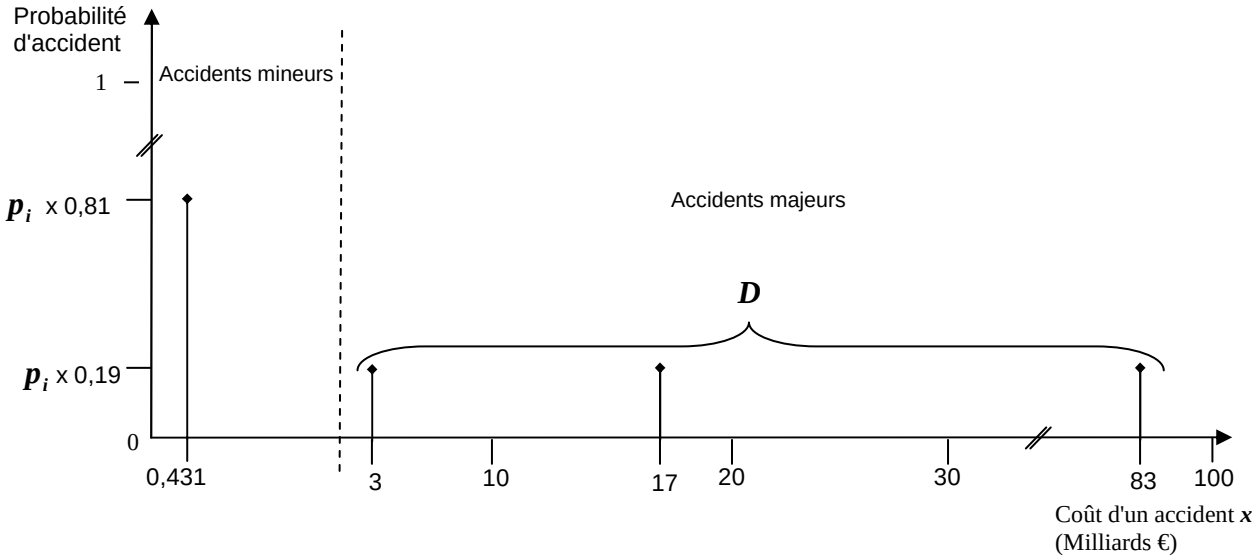
▪ une probabilité de rejets radioactifs à l'extérieur de la centrale, après fusion du cœur du réacteur (dite *probabilité conditionnelle*), binaire et égale à 0,81 pour les accidents de faible ampleur (enceinte de confinement très peu endommagée) et 0,19 pour les accidents majeurs (enceinte de confinement significativement rompue). On note cette probabilité $p'_j = \{0{,}81 ; 0{,}19\}$, $j = \{1 ; 2\}$.

Ainsi, non seulement les EPS fournissent peu de probabilités mais les seules probabilités estimées sont des probabilités discrètes. Dès lors, déduire une distribution de probabilités de ces données se heurte à une limite évidente. Une distribution attribue à chaque niveau de

dommage une probabilité. On obtient alors une famille de couples (dommage, probabilité). Une fois ces couples transposés sur un graphique sous la forme d'un nuage de points, la courbe liant ces points doit être ajustée pour déterminer la forme fonctionnelle de la distribution la plus appropriée à la série de données. La limite se trouve précisément ici. En ce qui concerne les accidents nucléaires, il n'existe en effet pas une telle série de données. Bien que, d'un côté, les dommages nucléaires puissent être définis sur un intervalle continu (]**0 ; *D***]), de l'autre, les probabilités d'accident sont discontinues. Cette discontinuité concerne tout particulièrement les probabilités conditionnelles. D'une part, les EPS ne définissent que deux probabilités conditionnelles ($\boldsymbol{p}_1^{'}$ et $\boldsymbol{p}_2^{'}$). Les couples (dommage, probabilité) disponibles sont donc très peu nombreux. Ces deux probabilités différencient les accidents de faible ampleur (affectés de $\boldsymbol{p}_1^{'}$) des accidents graves (affectés de $\boldsymbol{p}_2^{'}$) mais il n'y a pas de continuum entre ces deux catégories d'accidents. Il n'existe pas, par exemple, de probabilités correspondant à une catégorie "accident moyen". Il y a donc une sorte de "saut" méthodologique dans la distribution. D'autre part, si $\boldsymbol{p}_2^{'}$ concerne les accidents majeurs, parmi eux, aucune distinction n'est permise entre les accidents coûtant moins de 10 milliards € et les accidents coûtant 100 milliards €. Comme nous l'avons vu plus haut, cet amalgame est reflété dans les scénarios des EPS et des études ExternE qui établissent pour les accidents graves trois degrés de gravité exclusifs (ST21, ST22 et ST2). Ces trois scénarios se différencient par des dommages de plus en plus élevés et non pas par des différentiels de probabilité (Tableau 8).

En conséquence, les EPS ne parviennent pas à décrire plus finement la distribution de probabilités des accidents nucléaires. Il existe alors une discontinuité entre accidents de faible ampleur et accidents majeurs et une discontinuité parmi les accidents majeurs eux-mêmes. Cette situation ne permet pas un ajustement pertinent des données par régression linéaire. Elle est représentée par le Graphique 2, avec les valeurs de $\boldsymbol{x}$ données par ExternE pour la France (Drecier *et alii*, 1995) (voir Tableau 9, p.113). La ligne verticale en pointillés marque le saut méthodologique entre accidents de faible ampleur et accidents majeurs et l'exclusivité parmi les seconds. Ce graphique montre clairement que seulement deux familles de couples (dommage, probabilité) sont en réalité disponibles selon que les rejets sont faibles (0,431 ; $\boldsymbol{p}_i$ x 0,81) (point à gauche de la ligne verticale en pointillés) ou importants ($\boldsymbol{x}$ = {3,339 ; 17,093 ; 83,252}; $\boldsymbol{p}_i$ x 0,19) (points à droite de la ligne verticale en pointillés). Ces quatre couples correspondent aux quatre scénarios des EPS. Il n'y a donc pas de nuage de points au

sens strict. Nous sommes par conséquent ignorants sur l'allure de la courbe reliant les points pour les autres valeurs de x et de p_i x p'_j .



Graphique 2. Discontinuité dans les probabilités d'accident nucléaire

Dans ces conditions, comment choisir une loi de distribution de probabilités adaptée aux (seules) données disponibles ? Puisque les techniques économétriques habituelles d'ajustement de données ne sont pas applicables à ce problème, un détour méthodologique s'impose. La seule information qui peut être extraite de ces données est qu'il semblerait que la probabilité d'accident soit décroissante avec la gravité de l'accident. Cette conjecture doit toutefois être prudente car le Graphique 2 ne dit en en réalité rien sur le nuage de points pour les dommages inférieurs à 431 millions €. Cette absence d'information peut alors faire penser, par exemple, que dans cette portion du graphique, la courbe puisse croître avant la ligne verticale en pointillés puis décroître uniquement après. De plus, même si la courbe est décroissante sur tout ou portion du graphique, sa vitesse de décroissance est inconnue. Ainsi, pour notre problème, au lieu d'induire une loi de probabilités à partir d'un nuage de points, la démarche va au, contraire, consister à déduire, parmi l'ensemble des distributions qu'offre la statistique, la loi la mieux adaptée au problème que nous cherchons à modéliser. Pour cela, il faut prendre en compte d'une part, les spécificités du risque considéré et d'autre part, les caractéristiques des distributions que propose la statistique.

Concernant les spécificités du risque, on a vu que les accidents nucléaires sont des événements rares et potentiellement très graves. Ces événements très particuliers sont qualifiés par Dubin et Rothwell (1990) comme des événements "extraordinaires". Dès lors, peu de distributions continues de probabilité constituent des candidates viables. Parmi les

distributions les plus courantes, la statistique propose les distributions uniforme, normale, log-normale, logistique, gamma et bêta. Parmi elles, quelle est la distribution la plus appropriée ? Les lois uniforme, normale et log-normale sont performantes pour la modélisation d'événements aléatoires nombreux et de petite taille. Elles ne correspondent donc pas aux caractéristiques des accidents nucléaires et sont d'emblée éliminées. De surcroît, la loi uniforme suppose que la probabilité est constante pour toute valeur des dommages ***x***. Seules les lois logistique, gamma et bêta peuvent alors être des candidates possibles. Les lois gamma et bêta sont fréquemment utilisées en finance et en physique pour modéliser des événements de faible probabilité. Elles sont toutefois retirées de la sélection car d'un point de vue analytique, elles ne permettent pas d'extraire explicitement une fonction de répartition ***F*** comme la primitive de leur fonction de densité ***f*** (Johnson *et alii*, 1994). De plus, elles requièrent un échantillon de données assez important. D'un point de vue pratique, elles sont donc peu utiles pour le cas qui nous intéresse.

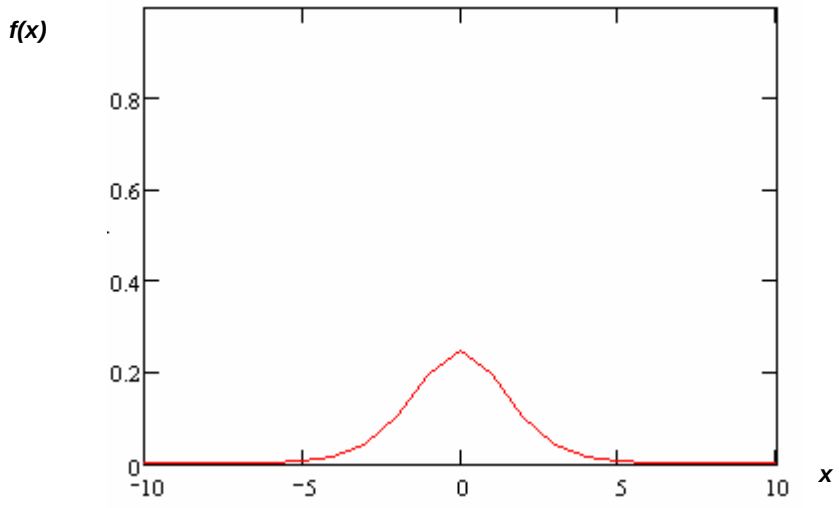
Ainsi, la loi logistique est la dernière en lisse. Elle possède de réels atouts pour modéliser les accidents nucléaires. A ce sujet, nous suivons le choix de Dubin et Rothwell (1990) et Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) qui utilisent également la loi de distribution logistique dans leur modèle. Si ces auteurs donnent peu d'explications concernant leur choix, le nôtre est motivé par les raisons suivantes.

D'une part, la loi logistique permet de modéliser des événements de grande taille et de faible occurrence. Bien que proche de la loi normale, elle est beaucoup plus flexible que cette dernière et est particulièrement utile pour approcher des probabilités. En effet, puisque les probabilités $p \in [0,1]$, il n'y a alors que "peu de place" pour ajuster une droite par rapport à un nuage de points (s'il existe). Le nuage se concentre sur le seul segment [0,1]. Dans ce cas, il est intéressant de remplacer p par $x = ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ <=> $p = \frac{1}{1+e^{-x}}$. La probabilité p prend alors toutes les valeurs comprises entre $-\infty$ et $+\infty$. C'est précisément ce que fait la distribution logistique. On passe ainsi d'une régression linéaire à une régression logistique. C'est de la nouvelle formule de p qu'est tirée la fonction de répartition $F(x)$ et la fonction de densité $f(x)$ de la distribution logistique standard :

$$f(x) = \frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2} \quad (6) \quad \text{et} \quad F(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})} \quad (7)$$

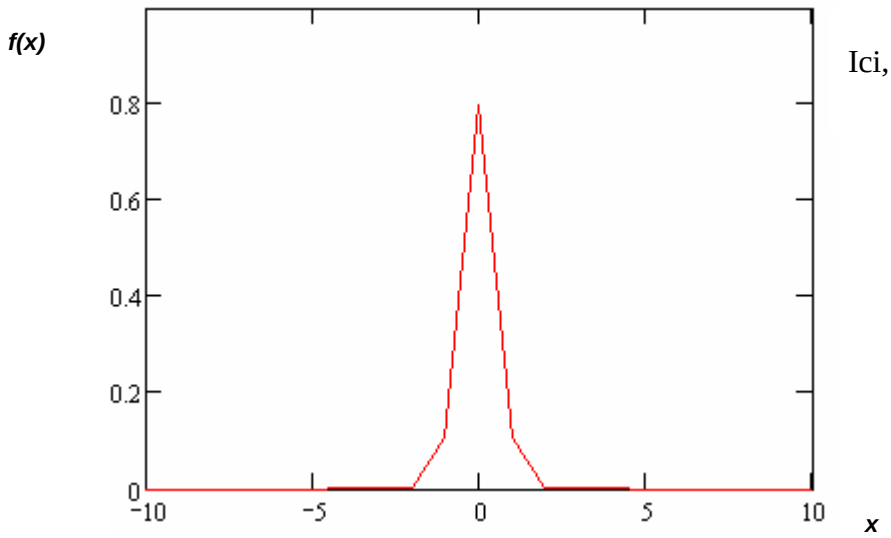
avec $x \in [0,D]$ et $D \in$ sur $\Re^{+*}$.

La distribution logistique standard est de moyenne nulle et de variance constante. On note $f(x) \sim \mathcal{L}(0, \frac{\pi^2}{3})$ et $f(x)$ est de la forme suivante :



Graphique 3. Densité de la loi logistique standard

Par rapport à la loi normale, les queues de la courbe représentative de la loi logistique sont beaucoup plus fines et plus longues. Cela signifie que la variable modélisée (les accidents nucléaires) peut prendre des valeurs très importantes (les dommages) et que les accidents sont de plus en plus rares à mesure que leur gravité augmente. La fonction de densité de loi normale standard s'écrit $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\sigma\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}$, avec $\mathcal{N} \sim (m, \sigma)$ où m est la moyenne et σ l'écart-type, et est de la forme suivante :



Ici, $\mathcal{N} \sim (0, \frac{1}{2})$

Graphique 4. Densité de la loi normale

C'est donc, en premier lieu, pour sa propriété de pouvoir rendre compte des valeurs extrêmes que le choix s'est porté sur la loi logistique (Balakrishnan, 1992 ; Johnson *et alii*, 1994 ; Goldfard et Pardoux, 1998). En second lieu, le fait que les extrêmes (notamment la queue droite de la distribution) traduisent la croissance de la rareté des accidents nucléaires avec leur gravité est tout à fait pertinent avec le fonctionnement du système de sûreté actuellement en vigueur dans la plupart des centrales nucléaires en Europe et en France : le système de "défense en profondeur" (encadré 3).

Encadré 3. Le système de "défense en profondeur"

Le système de "défense en profondeur" est un système de sûreté nucléaire qui s'organise autour de multiples niveaux de protection. Ces multiples niveaux comprennent des barrières successives qui ramènent à un niveau extrêmement faible la probabilité qu'un accident puisse avoir des répercussions à l'extérieur de la centrale. L'idée est que chaque dispositif de sécurité relatif au réacteur doit *a priori* être considéré comme vulnérable et doit donc être protégé par un autre dispositif. C'est ainsi que dans un REP (réacteur à eau pressurisée) du type de ceux d'EDF, la prise en compte de ce concept implique l'existence de toute une série de barrières étanches et résistantes autour du réacteur. Les REP d'EDF comptent trois barrières de confinement imbriquées les unes dans les autres : une gaine métallique entourant le combustible nucléaire puis une enveloppe autour du circuit primaire (cuve du réacteur) et enfin une enceinte de béton (doublée dans les REP les plus récents). Ces barrières sont alors assujetties à trois niveaux successifs de défense. Le premier niveau consiste en la surveillance, en fonctionnement normal, du respect des normes de sûreté. En cas d'incident, le deuxième niveau consiste en divers mécanismes techniques et humains de protection pour stopper sa progression. Le troisième niveau intervient lorsque les trois barrières de confinement ont été franchies et consiste en le contrôle et le refroidissement de la réactivité des matières impliquées ainsi que, dans le pire des cas, en la filtration des émissions radioactives de l'enceinte et diverses mesures de limitation de leur dissémination dans l'atmosphère.

Ce système est fondé sur le principe selon lequel il suffit de maintenir les matières radioactives parfaitement confinées pour prévenir les conséquences d'un accident nucléaire sur la population et l'environnement. Il permet donc de maximiser les possibilités de stopper la progression d'un accident en cours (Pichereau, 2006).

Ce système permet, en effet, de considérer que les accidents graves ont une probabilité de survenance plus faible que les accidents mineurs, étant donné qu'ils ne se réalisent qu'à la condition que toutes les barrières de confinement se rompent et que tous les dispositifs de sûreté échouent.

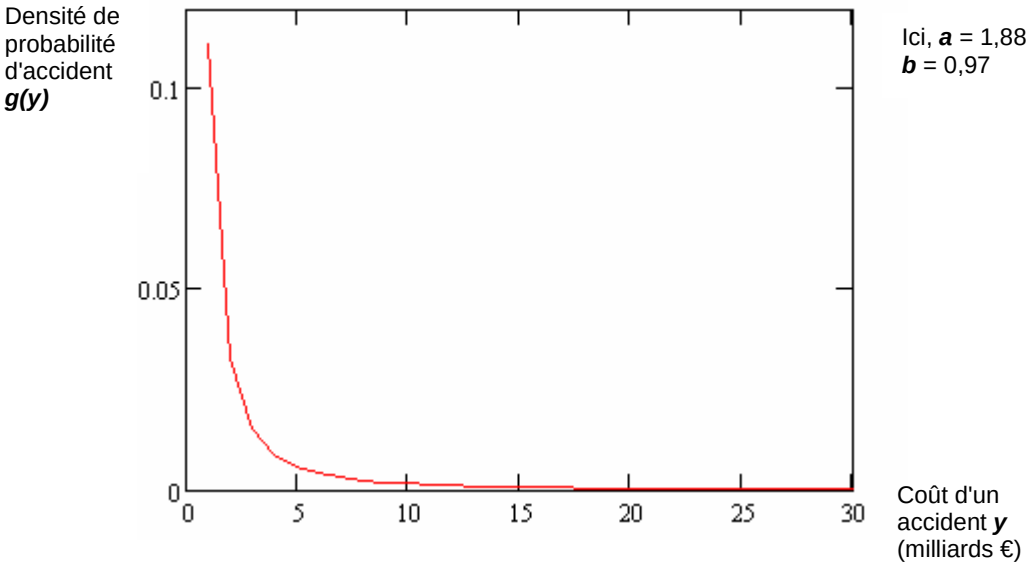
Dès lors, étant donné que les dommages $\boldsymbol{x}$ ne peuvent prendre que des valeurs strictement positives ($\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{X}=]0,\boldsymbol{D}]$), le choix a donc été fait de conserver la transformation logarithmique linéaire $\boldsymbol{X} \equiv \boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}.\boldsymbol{lnY}$ effectuée par Dubin et Rothwell (1990) et Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) et de concentrer ainsi la courbe de densité uniquement sur $\Re^{+*}$. De là, $\boldsymbol{f(x)}$ et $\boldsymbol{F(x)}$ sont aussi transformées. Notons toutefois que, pour leur changement de variable, Dubin *et alii* utilisaient la notation suivante : $\boldsymbol{X} \equiv \boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}.\boldsymbol{lnx}$. Or, cette écriture n'est pas correcte puisque $\boldsymbol{X}$ et $\boldsymbol{x}$ sont toutes deux des variables aléatoires. Elles ne peuvent donc pas s'écrire de la même façon. Par cette notation, les auteurs assimilent, à tort, un changement de variable aléatoire à un changement de variable de fonction. Pour traduire ce changement, la variable $\boldsymbol{y}$ est alors introduite comme nouvelle variable aléatoire. Cependant, seule la notation change. L'interprétation de $\boldsymbol{y}$ reste la même que celle de $\boldsymbol{x}$. Ainsi, $\boldsymbol{y}$ représente les dommages d'un accident nucléaire avec $y \in \boldsymbol{Y}=]0,\boldsymbol{D}]$. Les fonctions de densité et de répartition doivent

aussi changer de dénomination. ***F(x)*** et ***f(x)*** deviennent donc respectivement ***G(y)*** et ***f(y)***. La distribution est alors log-logistique[130] et on a:

$$g(y) = \frac{b}{y} \cdot \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2} \quad (8) \quad \text{et} \quad G(y) = \frac{1}{(1+e^{-(a+b\ln y)})} \quad (9)$$

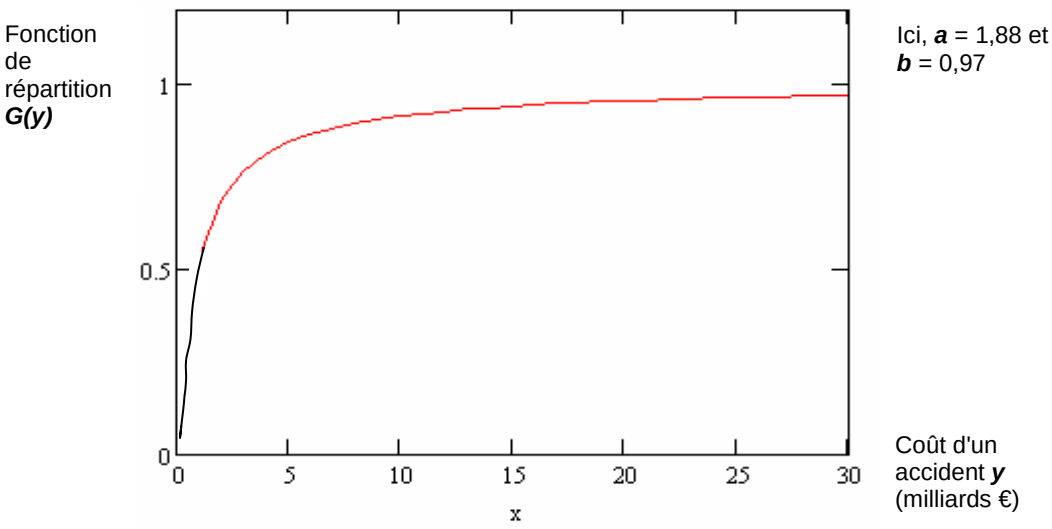
où $y \in Y$, $a \in \Re$ et $b \in \Re^{+*}$.

A nouveau, Dubin *et alii* ont ici commis une erreur. Ils ont remplacé leur changement de variable aléatoire $X \equiv a+b.\ln x$ directement dans les équations (6) et (7) de ***F(x)*** et ***f(x)*** sans recalculer la nouvelle fonction de densité. Ils ont ainsi obtenu $f(x) = \frac{e^{-(a+b\ln x)}}{(1+e^{-(a+b\ln x)})^2}$, ou avec notre notation $g(y) = \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}$. Or, cette équation est mathématiquement fausse. Notre modèle utilisera donc la fonction de densité ***g(y)*** corrigée (équation (8)). La distribution log-logistique est de la forme suivante :



Graphique 5. Densité de la loi log-logistique

[130] Ce type de transformation est assez classique pour la loi normale qui devient log-normale et est très utilisée en finance. Elle a aussi pour but de normaliser les distributions désaxées vers la droite.



Graphique 6. Fonction de répartition de la loi log-logistique

Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000) ont reproduit l'erreur de Dubin et Rothwell (1990) dans leur modèle et ont, de ce fait, trouvé un paramètre $b < 0$. Or, la restriction que nous avons posée plus haut selon laquelle $b \in \Re^{+*}$ est fondamentale. En effet, si $b < 0$, la forme de la densité de la loi log-logistique n'est plus la même et, plus important encore, les résultats donnés par les auteurs sont faux[131].

Notons que ce type de loi est aussi le type de distribution privilégiée par les études telles que celles menées par la *Nuclear Regulatory Commission* sur les réacteurs américains (Johnson *et alii*, 1994, p.244). La forme fonctionnelle de la distribution de probabilités maintenant choisie, l'équation (5) peut être réécrite en remplaçant p par $g(y)$ et x par la nouvelle variable aléatoire y. On obtient ainsi la formule finale du calcul de la prime par l'assureur :

$$P = \int_0^{y_p} y \cdot \frac{b}{y} \cdot \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2} dy + \int_{y_p}^{D} y_p \cdot \frac{b}{y} \cdot \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2} dy \qquad (10)$$

L'équation (10) permet à l'assureur de calculer le coût espéré de ses pertes consécutives à un accident nucléaire. On note ce coût CEP. Les paramètres a et b seront les paramètres à déterminer. Ils sont les paramètres de forme de la courbe de distribution de probabilités. Le paramètre a renseigne sur l'aire à gauche de la courbe de $G(y)$ et b renseigne sur l'aire à droite de la courbe de $G(y)$.

[131] La démonstration de cette propriété est développée dans l'Annexe 5.

Ainsi, en supposant que l'assureur utilise une loi log-logistique pour la calculer, nous déduirons de l'équation (10) la subvention de couverture d'EDF. Pour cela, la borne ***D*** doit être définie.

H3 : Les scénarios de dommages pour un accident nucléaire majeur.

Puisque $y \in Y =]0 ; D]$, il faut définir la valeur d'un dommage majeur ***D***. A ce propos, le chapitre 1 a présenté les différents éléments constitutifs du coût d'un accident nucléaire retenus dans les études. Il a également montré que selon les hypothèses retenues (étendue géographique des émissions radioactives, horizon temporel, effets latents ou indirects), les estimations pouvaient grandement différer. Nous rappelons que les études s'accordent sur le fait qu'en moyenne le coût d'un accident nucléaire majeur est compris entre 10 milliards € et 100 milliards € (CE, 1995 ; Spadaro et Rabl, 1998 ; Schieber et Benhamou, 1999 ; NEA, 2000 ; Le Dars et Schneider, 2002 ; Schneider et Schieber, 2002). Nous avons vu que l'implémentation française d'ExternE (Dreicer *et alii*, 1995) évalue ce coût entre 3 milliards € et 83 milliards €, ce qui est conforme à l'intervalle donné par les autres études. De là, le souci est de fournir une évaluation aussi rigoureuse que possible des différentes valeurs de la subvention implicite de RC en fonction de l'ampleur de ***D***. Le choix est donc fait de sélectionner quatre niveaux de dommages majeurs à l'intérieur de l'intervalle donné par les études, soit $D_i = \{10\,000 ; 40\,000 ; 70\,000 ; 100\,000\}$ exprimés en millions €. On a : $D_i \in D$, $D \in \Re^{+*}$, $i = 1,\ldots,4$. Ces niveaux de dommages constituent les quatre scénarios sur lesquels notre évaluation sera fondée.

2.2.1.2. Les autres hypothèses

Au-delà du calcul de la prime d'assurance, le modèle repose sur trois autres hypothèses.

H4 : L'accident nucléaire majeur de référence.

Parmi les différents types d'accidents nucléaires pouvant survenir sur une centrale de production en France, l'accident de référence retenu ici est l'accident de type "ST3" ("Terme Source 3") défini par les autorités de sûreté nucléaire françaises (Queniart, 1992; Dreicer *et alii*, 1998; Schieber and Schneider, 2002). Ce type d'accident correspond à un accident avec une rupture différée de l'enceinte de confinement du réacteur et des rejets radioactifs au plus tard 24 heures après la fusion du coeur avec filtration. Il est caractérisé par le rejet de 75% des gaz inertes du cœur du réacteur (hélium, néon, argon, krypton, xénon et radon) et d'environ 1%

d'éléments les plus volatiles (iode, césium et strontium). En termes de rejets, cet accident de référence se situe donc entre les scénarios ST21 et ST2 des EPS (présentés dans le chapitre 1, p. 113). C'est néanmoins la seule différence qu'il présente avec les autres scénarios d'accidents majeurs. En effet, en termes de probabilité, l'accident ST3 correspond à une même probabilité de fusion du cœur parmi les trois valeurs $\{10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}\}$ /réacteur/an et une même probabilité conditionnelle égale à 0,19/réacteur/an.

H5 : Indépendance des probabilités d'accident.

Les probabilités d'accident sur chaque réacteur en fonctionnement sur un territoire sont indépendantes les unes des autres. Cette hypothèse a son importance car dans la réalité certaines probabilités peuvent être considérées comme dépendantes les unes des autres, notamment lorsque plusieurs réacteurs nucléaires sont exploités sur le même site de production. Il existe de multiples centrales nucléaires en Europe et en France qui présentent cette configuration. En France, par exemple, les cinquante-huit réacteurs d'EDF sont exploités sur dix-neuf sites de production. Dès lors, les probabilités d'accident des réacteurs cohabitant sur un même site peuvent être considérées comme co-dépendantes du fait de la proximité des installations. C'est surtout le cas lorsque les différents réacteurs d'un même site sont régis par un système commun de sûreté. Si ce système révélait une défaillance, tous les réacteurs pourraient être affectés, soit successivement, soit simultanément. La probabilité d'accident peut alors être considérée comme plus élevée dans ce cas, non seulement du fait de leur nombre mais aussi du fait de cette dépendance technique. Poser l'hypothèse de l'indépendance entre les probabilités permet d'affecter à chaque réacteur la même fréquence d'accident et de faciliter le calcul.

H6 : Egalité des probabilités d'accident.

L'égalité des probabilités d'accident pour chaque réacteur est pertinente pour un pays comme la France puisque tous les réacteurs sont technologiquement identiques (des REP) et tous sont des réacteurs de deuxième génération. Ils sont donc tous basés sur les mêmes standards de construction et tous soumis aux mêmes normes de sûreté.

H7 : Un seul accident par réacteur par an.

Il est théoriquement possible en France qu'il y ait cinquante-huit accidents en une année puisque les probabilités sont exprimées "par réacteur par an". Pour rester réaliste, nous supposons néanmoins que si un accident venait à se produire sur un réacteur, l'activité de la

centrale nucléaire concernée serait immédiatement arrêtée, y compris celle des autres réacteurs du même site. Cet arrêt serait recommandé jusqu'à la complète réparation du réacteur endommagé. Même s'il est envisageable que les opérations de réparation d'un réacteur après qu'il a subi un accident s'effectuent dans un délai bref, et qu'il soit rapidement remis en exploitation, l'hypothèse est émise qu'un réacteur ne peut être l'objet que d'un seul accident par an.

Toutes ces hypothèses étant posées, le fonctionnement du modèle peut être exposé.

2.2.2. Le modèle

L'objectif est de modéliser la survenance des accidents nucléaires en l'approchant par une courbe (la densité de probabilité ***g(y)***) reliant l'ampleur d'un accident (en termes de dommages hors site ***y***) à sa probabilité. Les données utilisées sont de trois types : elles concernent d'abord, les probabilités puis, les coûts d'un accident majeur et enfin, la prime d'assurance exigée par l'assureur de l'exploitant nucléaire pour couvrir son plafond de RC.

Les deux premières données ont été rappelées dans le paragraphe 2.2.1.1. En ce qui concerne la troisième donnée, le chapitre précédent a montré qu'en vertu de l'article 7 de la loi nucléaire française (Annexe 4), EDF a l'obligation de couvrir son plafond de RC par une assurance ou une garantie financière. Alors que la plupart des autres exploitants nucléaires des pays européens parties aux Conventions de Paris et de Bruxelles couvrent leur RC exclusivement par le recours à l'assurance, EDF couvre sa part de risque (actuellement limitée à 91 millions €) d'une manière originale. Il la couvre suivant deux tranches distinctes : pour les deux premiers tiers du plafond (60 millions €), il s'auto-assure, par la constitution de réserves financières propres et, pour le dernier tiers (31 millions €), il a recours à l'assurance[132] (Carrez, 2003). Cette assurance-RC est, par conséquent, une assurance en "excédent de perte" (*excess loss*) : elle couvre les dommages d'un accident nucléaire seulement pour la part comprise entre 60 millions € (constitués sous forme de réserves par EDF) et 91 millions € (le plafond actuel de RC). Si les coûts d'un accident excèdent 91 millions €, l'assureur paiera alors, en vertu des Conventions AEN/OCDE et des contrats d'assurance, seulement 31 millions € quelque soit ***y*** > 91 millions €.

[132] Cette assurance RC est contractée auprès de trois groupes d'assureurs : Axa et AGF (au sein d'Assuratome, le *pool* français d'assurance nucléaire) et la mutuelle européenne ELINI (EDF, Document de Base 2004). Nous reviendrons sur le détail et le fonctionnement de ce marché particulier de l'assurance nucléaire dans le chapitre 3.

Aujourd'hui, pour couvrir cette seconde tranche assurancielle de 31 millions €, EDF paye 6,4 millions €/an de prime d'assurance pour l'ensemble de ses cinquante-huit réacteurs nucléaires (Charpin *et alii*, 2000; Carrez, 2003)[133]. Si cette prime est ramenée par unité de réacteur, elle est alors égale à 110 345€/réacteur/an. Dans le modèle, ce montant est considéré comme une donnée. Il ne peut toutefois pas être introduit tel quel dans l'équation (10). En effet, outre le coût espéré des pertes de l'assureur (***CEP***), nous avons vu que deux autres coûts sont traditionnellement introduits dans la prime d'assurance : les coûts de gestion de l'assureur (notés ***CG***) et une prime de risque (notée ***R***). La prime d'assurance est donc définie par l'identité suivante : $\boldsymbol{P} \equiv \boldsymbol{CEP} + \boldsymbol{CG} + \boldsymbol{R}$. Pour le cas français, on a $\boldsymbol{P}$ = 110 345€/réacteur/an. Ainsi, sachant que le plafond de RC d'EDF est égal à $\boldsymbol{y_p}$ = 91 millions €, l'équation (10) devient alors (en millions €/réacteur/an) :

$$\int_{60}^{91} (y-60)\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy + \int_{91}^{D} 31\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy = 0{,}110345 - CG - R \qquad (11)$$

Les coûts de gestion ***CG*** sont reportés dans la prime d'assurance et sont estimés en moyenne, à environ 30% de la prime totale (Denenberg, 1973; Dubin et Rothwell, 1990 ; Faure et Vanden Bergh, 1995 ; Heyes et Liston-Heyes, 1998, 2000b). Dans la continuité des travaux sur lesquels cette évaluation se fonde, ce pourcentage est ici retenu. Ainsi, afin de refléter le ***CEP*** réel, traduit par le terme de gauche de l'équation (11), les coûts de gestion ***CG*** sont retirés de la prime ***P*** (terme de droite). On obtient alors (en millions €/réacteur/an) :

$$\int_{60}^{91} (y-60)\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy + \int_{91}^{D} 31\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy = 0{,}077241 - R \qquad (12)$$

Concernant la prime de risque ***R***, il faut également la retirer de l'équation (12). L'évaluation précise de cette surprime est cependant difficile ; et ce pour deux raisons. D'une part, pour des raisons de secret commercial, la formule précise sur laquelle se basent les assureurs pour calculer leur prime d'assurance n'est pas accessible. D'autre part, l'aversion au risque est subjective et propre à chaque assureur. Elle n'est pas le fruit d'un calcul invariant et objectif. Elle est le résultat d'une appréciation personnelle de la part de l'assureur. Par conséquent, puisque aucun chiffre exact ne peut être donné pour cette surprime, une analyse de sensibilité doit être effectuée. Ainsi, deux valeurs lui sont données : $\boldsymbol{R_i} \in \boldsymbol{R}$ avec $\boldsymbol{R_i}$ = {5% ;

[133] Cette prime ne comprend pas l'assurance de la RC de l'exploitant pour les accidents en cours de transport qui fait l'objet d'une assurance spécifique.

10%} de la prime d'assurance totale et $\boldsymbol{i}$ = {1 ; 2}. Selon les valeurs de $\boldsymbol{R_i}$, l'équation (12) devient :

$$\int_{60}^{91}(y-60)\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy \;+\; \int_{91}^{D}31\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy = \begin{cases}0{,}073379 \text{ si } R_1\\ 0{,}069517 \text{ si } R_2\end{cases} \qquad (13)$$

Intégrer l'aversion au risque dans le calcul est une manière de répondre ainsi à la suggestion de Heyes et Liston-Heyes (2000b) : "*One would be to investigate the impact of catastrophe aversion upon the results*"[134] (p.99). L'équation (13) sera l'une des deux équations du système à résoudre.

Une autre contrainte doit être ajoutée au système. Elle est relative au coût maximum d'un accident nucléaire. Puisque le coût d'un accident majeur $\boldsymbol{D}$ est au moins égal à 10 milliards € et qu'il peut potentiellement tendre vers $+\infty$ ($\boldsymbol{D}$ étant considéré comme le coût minimum d'un accident majeur, voir note 128), on peut alors écrire :

$$\int_{D}^{\infty} g(y)\,dy = p_i \,.\, p_2' \qquad (14)$$

Cette équation doit être lue de la manière suivante : la probabilité que le coût d'un accident nucléaire soit supérieur ou égal à $\boldsymbol{D}$ est égale à $\boldsymbol{p_i}$ x $\boldsymbol{p_2'}$. En utilisant la fonction de répartition donnée par l'équation (9), l'équation (14) devient :

$$1-F(D) = p_i \,.\, p_2' \quad \text{soit} \quad 1-\frac{1}{(1+e^{-(a+b\ln D)})} = p_i \,.\, p_2' \qquad (15)$$

En quoi cette équation se différencie-t-elle de celle utilisée par Dubin et Rothwell (1990) et Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b). Contrairement à eux, la probabilité conditionnelle des accidents majeurs $\boldsymbol{p_2'}$ est intégrée dans le terme de droite. Cet apport est significatif pour deux raisons. D'une part, Dubin et Rothwell (1990) utilisent une probabilité d'accident majeur qui n'inclue pas les conséquences sanitaires, ce qui biaise fortement leur calcul. La conséquence en est que $\boldsymbol{D}$ est limité, dans leur modèle, à 10 milliards $US. D'autre part, Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) ne retiennent comme probabilité d'accident que la probabilité de fusion du cœur du réacteur. Or, comme le confirment les EPS et les études ExternE, l'intégration des probabilités conditionnelles est indispensable pour refléter la probabilité qu'un accident nucléaire ait des conséquences hors site. Pour plus de réalisme, le produit $\boldsymbol{p_i}$ x $\boldsymbol{p_2'}$ est donc substitué à la seule probabilité $\boldsymbol{p_i}$.

[134] *"Il serait intéressant d'étudier l'impact de l'aversion à la catastrophe sur les résultats".*

Finalement, notre modèle est centré sur la résolution du système d'équations simultanées composé des équations (13) et (15), soit :

$$\begin{cases} \int_{60}^{91} (y-60)\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy + \int_{91}^{D} 31\cdot\frac{b}{y}\cdot\frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}dy = \begin{cases} 0{,}073379 \text{ si } R_1 \\ 0{,}069517 \text{ si } R_2 \end{cases} \\ 1-\frac{1}{(1+e^{-(a+b\ln D)})} = p_i \cdot p_2' \end{cases} \qquad (16)$$

Le système à résoudre est donc composé de deux équations à deux inconnues : les paramètres ***a*** et ***b***. D'ordinaire, si une série de données nombreuses était disponible, les paramètres ***a*** et ***b*** seraient donnés par l'ajustement de la série par la technique de la régression linéaire. Or, comme cette technique traditionnelle ne peut pas être utilisée ici, du fait d'un défaut de données, ce modèle est dit "numérique" et non "économétrique". A ce titre, Heyes et Liston-Heyes (2000b) précisent : *"Econometrics methods are used when an exact solution is unavailable. When an equation is overidentified, econometrics can be used to get a best fit. (Here), this is not econometrics because if there is a solution there is no statistical uncertainty. The alternative expert views do not constitute separate pieces of data. Rather, they define alternative expert scenarios"*[135] (p.96). Ainsi, il faut déterminer les paramètres (***a***, ***b***) de manière à ce que les deux équations du système précédent soient satisfaites, pour chacun de nos scénarios. Ces paramètres ainsi déterminés permettront de calculer le montant actuel de la subvention implicite de RC d'EDF, notée ***S***, à l'aide de l'équation suivante :

$$S = \int_{91}^{D} y.g(y)dy - \int_{91}^{D} 91.g(y)dy \qquad (17)$$

L'impact des derniers amendements législatifs des Conventions AEN/OCDE de 2004 sur le montant de la subvention implicite sera aussi évalué. Pour cela, le plafond de RC de l'exploitant $y_p = 91$ sera remplacé par le futur plafond $y_p = 700$ (en millions €) et le nouveau montant de subvention, noté ***S'***, sera calculé avec l'équation suivante :

$$S' = \int_{700}^{D} y.g(y)dy - \int_{700}^{D} 700.g(y)dy \qquad (18)$$

[135] *"Les méthodes économétriques sont utilisées quand une solution exacte n'est pas disponible. Quand une équation est suridentifiée, l'économétrie peut être utilisée pour trouver un meilleur ajustement. (Ici), il ne s'agit pas d'économétrie parceque s'il y a une solution, il n'y a pas d'incertitude statistique. Les avis experts alternatifs ne constituent pas des échantillons différenciés de données. Ils définissent plutôt des scenarios alternatifs".*

De plus, à titre indicatif, les montants d'indemnisation pris en charge par l'Etat français et les autres pays contractants vont aussi faire l'objet d'une évaluation. Plus précisément, ce qui va être évalué ce sont les coûts (notés respectivement I_f et I_p) que ces prises en charge auraient représentés pour l'exploitant, s'il avait dû lui-même les couvrir par l'assurance. I_f et I_p mesurent la prime que l'Etat français et les autres pays devraient respectivement exiger des exploitants pour leur intervention s'ils se comportaient comme de véritables réassureurs (et non gratuitement). Nous rappelons, à ce propos, que le plafond d'intervention de l'Etat français est actuellement fixé à 140 millions € et celui des autres pays à 150 millions €. Les équations utilisées pour calculer ces coûts réassuranciels sont alors :

$$I_f = \int_{91}^{231} (y - 91).g(y)dy + \int_{231}^{D} 140.g(y)dy \qquad (19)$$

$$I_p = \int_{231}^{381} (y - 231).g(y)dy + \int_{381}^{D} 150.g(y)dy \qquad (20)$$

L'équation (19) traduit le fait que l'Etat français couvre les dommages compris entre le plafond de l'exploitant (91 millions €) et 231 millions €, en cas d'accident nucléaire sur son territoire. Au-delà, les Etats contractants couvrent les dommages à hauteur de 381 millions € (équation (20)). A nouveau, les relèvements de 2004 des plafonds de ces deux tranches de risque supplémentaires sont intégrés dans le calcul. L'équation (19) prend alors en compte le futur plafond d'intervention de l'Etat de 500 millions € et l'équation (20) le futur plafond d'intervention des Etats contractants de 300 millions €. Ces équations deviennent alors respectivement :

$$I'_f = \int_{700}^{1200} (y - 700).g(y)dy + \int_{1200}^{D} 500.g(y)dy \qquad (21)$$

$$I'_p = \int_{1200}^{1500} (y - 1200).g(y)dy + \int_{1500}^{D} 300.g(y)dy \qquad (22)$$

I'_f et I'_p mesurent respectivement la prime que l'Etat français et les autres pays devraient exiger des exploitants pour leur intervention s'ils se comportaient comme de véritables réassureurs après les amendements de 2004. Dans ce cas, l'Etat français intervient pour les dommages compris entre le nouveau plafond de l'exploitant (700 millions €) et 1200 millions € et les autres Etats complètent ensuite les réparations jusqu'à 1500 millions €.

Après résolution du système (16) et des équations (17) à (22), quels sont alors les résultats de l'évaluation ?

2.3. Résultats de l'évaluation : interprétation et recommandations

Trois résultats sont mis en avant. En premier lieu, les impacts respectifs des scénarios et des amendements de 2004 sur le montant de la subvention implicite de RC seront examinés (2.3.1). Ensuite, une analyse de sensibilité sera menée pour étudier l'influence du niveau de la prime d'assurance sur les montants de subvention implicite (2.3.2). Enfin, une comparaison entre nos résultats et ceux des évaluations existantes pour les Etats-Unis et le Canada sera effectuée (2.3.3). Cette mise en perspective permettra de comparer des pays soumis à des limites de RC mais appartenant à des régimes de RCN différents.

2.3.1. Les montants de la subvention implicite de RCN pour la France

La résolution du système d'équations simultanées (16) est trop complexe pour être effectuée à la main. Le programme Mathcad.13 a donc été utilisé. Les commandes "Find" et "Minerr" de ce programme ont permis de déterminer les paramètres ***a*** et ***b*** selon les scénarios définis par les variables R_i, D_i, p_i. Les valeurs de départ choisies sont ***a*** = 1 et ***b*** = 1. Les valeurs de ***a*** et ***b*** ainsi trouvées sont les suivantes :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$				$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$				$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$			
	R_1=5%		R_2=10%		R_1=5%		R_2=10%		R_1=5%		R_2=10%	
Accidents majeurs (millions €)	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***
D_1 = 10000	1,71	0,98	1,88	0,97	-0,22	1,45	-0,12	1,44	-2,2	1,9	-2,13	1,9
D_2 = 40000	2,69	0,77	2,8	0,76	1,08	1,15	1,18	1,14	0,8	1,2	0,83	1,2
D_3 = 70000	2,99	0,7	3,07	0,69	1,55	1,04	1,6	1,03	1,08	1,15	1,17	1,14
D_4 = 100000	3,14	0,67	3,2	0,66	1,77	0,99	1,79	0,99	1,46	1,46	1,5	1,06

Tableau 11. Les valeurs estimées des paramètres a et b du modèle

De là, selon les scénarios, l'équation (17) donne les montants suivants pour la subvention implicite de RCN française S :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,67	0,650	0,290	0,280	0,150	0,140
D_2 = 40000	1,69	1,670	0,610	0,590	0,530	0,490
D_3 = 70000	2,56	2,500	0,880	0,850	0,650	0,630
D_4 = 100000	3,3	3,200	1,090	1,010	0,870	0,830

Tableau 12. Les montants actuels de la subvention implicite de RCN française (millions €/réacteur/an)

Ces montants donnent un ordre de grandeur du niveau de la subvention implicite plus qu'ils ne la mesurent parfaitement. Plusieurs commentaires intéressants peuvent néanmoins être émis à leur sujet.

Premièrement, on constate combien l'analyse de sensibilité sur le coût d'un accident majeur (D_i) est importante, étant donné que la valeur de D_i influence fortement le montant de subvention implicite S. On peut voir en effet, dans le tableau précédent, que lorsque D_i est multiplié par 10 (D_4/D_1), la subvention implicite augmente d'un facteur 5. Prendre en compte différents scénarios possibles pour D_i de manière à proposer une évaluation pertinente est donc crucial.

Deuxièmement, l'impact de la prime d'aversion au risque R_i sur la subvention est clair. Plus la prime de risque est élevée, plus l'espérance mathématique des pertes est faible et par conséquent, plus la subvention est réduite. Ce résultat est assez intuitif.

Quant à l'impact de la probabilité de fusion du cœur p_i sur le montant de subvention, plus cette probabilité augmente, plus la subvention baisse. Entre $p_1 = 10^{-4}$ et $p_3 = 10^{-6}$, la subvention diminue en moyenne de 74%. Ce constat est conforme à la décroissance de la distribution de probabilités en fonction de l'ampleur des dommages. Lorsque la probabilité d'accident diminue, la valeur espérée des dommages diminue aussi, et, avec elle, la prime d'assurance. En conséquence, la subvention de couverture est de plus en plus petite. Cette caractéristique s'explique par les propriétés de valeurs extrêmes que présente la distribution log-logistique utilisée pour le calcul.

En ce qui concerne l'évaluation des coûts réassuranciels que l'exploitant devrait subir pour les couvertures du risque par l'Etat (I_f) et les pays contractants (I_p) si ceux-ci lui faisaient payer une prime, les équations (19) et (20) donne les résultats suivants :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p_2' = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p_2' = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p_2' = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	165	157	120	116	90	86
D_2 = 40000	190	180	150	142	143	130
D_3 = 70000	200	190	159	150	148	140
D_4 = 100000	210	195	160	158	160	150

Tableau 13. Coût réassuranciel potentiel de la couverture du risque nucléaire par l'Etat français (milliers€/réacteur/an)

Le coût réassuranciel de la couverture du risque nucléaire par l'Etat français augmente de D_1 à D_4. Ce résultat est logique puisque l'Etat intervient sur une plus large part des dommages, lorsque D_i augmente.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p_2' = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p_2' = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p_2' = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	88	84	47	45	23	24
D_2 = 40000	120	110	71	70	66	60
D_3 = 70000	131	120	80	79	72	70
D_4 = 100000	132	130	90	86	80	76

Tableau 14. Coût réassuranciel potentiel de la couverture conjointe du risque nucléaire par les pays contractants (milliers€/réacteur/an)

Le coût réassuranciel de la couverture du risque nucléaire par les pays membres des Conventions AEN/OCDE augmente aussi de manière logique de D_1 à D_4.

Avec le futur plafond de RC d'EDF (700 millions €) et les nouvelles limites des interventions de l'Etat français (500 millions €) et des autres pays (300 millions €), les équations (18), (21) et (22) donnent alors les résultats suivants pour S', I_f' et I_p' :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p_2' = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p_2' = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p_2' = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,320	0,310	0,080	0,079	0,020	0,019
D_2 = 40000	1,230	1,220	0,315	0,310	0,250	0,230
D_3 = 70000	2,040	1,900	0,540	0,530	0,360	0,350
D_4 = 100000	2,800	2,700	0,730	0,670	0,540	0,510

Tableau 15. Les montants de la subvention implicite de RCN française avec les amendements de 2004 (millions €/réacteur/an)

Par rapport aux résultats du Tableau 12, ce tableau montre une réduction de la subvention implicite après le relèvement du plafond de RCN de l'exploitant.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	89	87	30	28	9,1	9
D_2 = 40000	160	150	64	62	60	50
D_3 = 70000	190	180	85	80	64	60
D_4 = 100000	204	202	97	90	80	76

Tableau 16. Coût réassuranciel potentiel de la couverture du risque nucléaire par l'Etat français avec les amendements de 2004 (milliers€/réacteur/an)

Comparativement au Tableau 13, le coût réassuranciel que devrait payer l'exploitant à l'Etat a diminué, à la suite des amendements de 2004. Alors que l'Etat couvre plus de dommages avec les amendements de 2004 (500 millions € au lieu de 140 millions €, comme le montrent les équations (19) et (21)), comment expliquer que le coût réassuranciel qu'il devrait exiger soit réduit ? Cette baisse est due à la forme de la distribution de probabilités log-logistique (Graphique 5, p.112). En effet, plus les dommages ***y*** d'un accident augmentent, plus la distribution de probabilités décroît. Par conséquent, bien qu'il couvre plus de dommages qu'avant, plus l'Etat intervient à droite sur l'abscisse des dommages, plus la probabilité de ces dommages est faible et plus le coût espéré de ces dommages est bas. Or, étant donné que l'Etat prend désormais en charge les dommages à partir de 700 millions € et non plus de 91 millions €, sa couverture s'est "déplacée" vers la droite. Puisque le calcul du coût réassuranciel potentiel de l'Etat (équations (19) et (21)) est basé sur le coût espéré des dommages qu'il couvre, il est alors logique qu'il baisse après 2004.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	36	35	9,9	9	2,6	2,5
D_2 = 40000	71	70	25	20	21	19
D_3 = 70000	87	84	34	30	25	24
D_4 = 100000	94	93	40	39	30	30

Tableau 17. Coût réassuranciel potentiel de la couverture conjointe du risque nucléaire par les pays contractants avec les amendements de 2004 (milliers€/réacteur/an)

De la même manière, et pour les mêmes raisons, par rapport aux résultats du Tableau 14, ce tableau présente une décroissance du coût réassuranciel que devrait payer l'exploitant aux autres Etats.

Quel bilan global tirer alors des amendements de 2004 ? Pour mettre en évidence leur impact, il faut calculer les taux de croissance respectifs de $\boldsymbol{S}$, de $\boldsymbol{I_f}$ et de $\boldsymbol{I_p}$. En termes monétaires, l'impact des amendements du Protocole de 2004 est donc le suivant :

Impact en termes de subvention implicite	Impact en termes de coût réassuranciel exonéré par l'Etat français	Impact en termes de coût réassuranciel exonéré par les autres Etats
moyenne($\boldsymbol{S'}$-$\boldsymbol{S}$) = -336	($\boldsymbol{I'_f}$ -$\boldsymbol{I_f}$) = -61,8	($\boldsymbol{I'_p}$ - $\boldsymbol{I_p}$) = -42,6

Tableau 18. Evaluation de l'impact moyen des Protocoles de 2004 (milliers€/réacteur/an)

Ce tableau indique qu'avec les nouveaux amendements législatifs, l'exploitant nucléaire français couvrira en moyenne 336 000€/réacteur/an de coûts du risque en plus. Sa subvention implicite de couverture est réduite d'autant. Elle baissera en moyenne de 44,2%. De ce fait, l'exploitant internalisera donc une plus large part des coûts du risque. L'Etat français et les autres pays continueront néanmoins de financer une grande part des dommages et même une plus grande part qu'aujourd'hui. Avant les amendements de 2004, l'Etat dans lequel l'exploitant exerce son activité prenait en effet en charge une part inférieure du risque nucléaire que celle couverte conjointement par les autres pays (140 millions € contre 150 millions €) alors que la répartition s'inversera avec les amendements (500 millions € contre 300 millions €). De surcroît, les Etats interviendront toujours gratuitement dans la couverture du risque, puisqu'ils ne feront toujours pas payer une prime de réassurance à l'exploitant pour leur intervention. Notons toutefois que le coût réassuranciel moyen dont les Etats l'exonèreront sera plus faible avec les amendements de 2004, pour les raisons invoquées plus haut. Cette exonération sera désormais réduite en moyenne de 61 800€/réacteur/an pour l'Etat et de 42 600€/réacteur/an pour les Etats contractants. Elles diminueront donc respectivement de 45,2% et 58,7%.

En conclusion, on peut dire que le bilan global des amendements législatifs de 2004 en termes de subvention implicite est positif. Toutefois, il peut être considéré comme insuffisant car d'un côté, une large part des coûts du risque n'est toujours pas internalisée par l'exploitant lui-même et d'un autre, une part reste ni internalisée ni couverte par personne.

2.3.2. Le niveau de la prime d'assurance : une analyse de sensibilité

L'évaluation de la subvention implicite de RCN repose ici sur une hypothèse forte : l'hypothèse selon laquelle la prime d'assurance actuellement payée par l'exploitant reflète

l'espérance mathématique des pertes (diminuée des coûts de gestion de l'assureur et d'une prime de risque). Aucune hypothèse ne fait mention d'un autre composant éventuel de la prime. Aussi, est-il intéressant de se demander comment évoluerait les montants de la subvention implicite de RCN si la prime actuellement payée par l'exploitant était en réalité surévaluée (excessive) ou sous-évaluée (insuffisante).

Deux cas sont étudiés : une prime deux fois trop élevée et une prime deux fois trop faible. Les changements sont opérés sur l'équation (11). Les deux tableaux suivants présentent les montants de subvention implicite pour ces deux cas (avec les amendements de 2004).

	$p_1 = 10^{-4}$; $p_2' = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p_2' = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p_2' = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,24	0,23	0,06	0,059	0,016	0,015
D_2 = 40000	0,92	0,9	0,18	0,17	0,168	0,16
D_3 = 70000	1,51	1,47	0,4	0,37	0,2	0,19
D_4 = 100000	2,05	2,00	0,58	0,57	0,39	0,33

Tableau 19. Montants de la subvention implicite pour une prime d'assurance surévaluée (millions €/réacteur/an)

Lorsque la prime d'assurance est divisée par 2 (passant à 36 690€/réacteur/an pour R_i = 5% et à 34 760€/réacteur/an pour R_i = 10%), les montants de subvention implicite sont en moyenne réduits de 29%.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p_2' = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p_2' = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p_2' = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,43	0,42	0,11	0,1	0,027	0,026
D_2 = 40000	1,67	1,62	0,54	0,48	0,28	0,25
D_3 = 70000	2,74	2,68	0,86	0,78	0,37	0,54
D_4 = 100000	3,71	3,6	1,24	1,23	0,64	0,58

Tableau 20. Montants de la subvention implicite pour une prime d'assurance sous-évaluée (millions €/réacteur/an)

Lorsque la prime d'assurance est doublée (passant à 146 760€/réacteur/an pour R_i = 5% et à 139 030€/réacteur/an pour R_i = 10%), les montants de subvention implicite sont en moyenne augmentés de 38%.

En conséquence, de la justesse du niveau de la prime d'assurance dépend la justesse des montants de subvention implicite[136].

[136] Le chapitre 3 analyse précisément le marché de l'assurance nucléaire et le niveau de la prime.

De là, comment se positionnent nos résultats par rapport aux évaluations faites pour les Etats-Unis et le Canada ?

2.3.3. Une comparaison internationale

Puisque notre évaluation s'est appuyée, en l'améliorant, sur le modèle de Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b), il est intéressant de comparer maintenant nos résultats pour la France avec leurs propres résultats pour les Etats-Unis et le Canada.

La comparaison de la France et des Etats-Unis est particulièrement intéressante car ce sont les deux pays les plus nucléarisés du monde (les Etats-Unis passant devant la France avec 104 réacteurs nucléaires). L'exercice de comparaison devrait être d'autant plus instructif que ces pays et le Canada ne sont pas soumis au même régime de RCN. Leurs régimes se ressemblent dans le fond mais leur forme diffère sensiblement.

Le régime de RCN français a déjà été présenté. Il est conforme aux Conventions de Paris et de Bruxelles et la RC de son exploitant nucléaire est actuellement limitée à 91 millions €/accident. Ce plafond est couvert par une combinaison entre réserves propres et assurance.

Le régime américain de RCN a également été présenté dans le chapitre 1. En bref, le *Price-Anderson Act* limite la RC des exploitants[137] actuellement à 10,76 milliards $US par accident (environ 9 milliards €). Ce plafond est couvert par les exploitants en deux tranches. La première tranche est couverte individuellement (300 millions $US) par une assurance-RC. La seconde tranche (10,46 milliards $US) est couverte conjointement par les exploitants dans le cadre d'un accord de partage de risque[138].

Quant au régime de RCN canadien, il a été mis en place par le *Nuclear Liability Act*, signé en 1970. Ce régime, très proche dans ses principes des Conventions AEN/OCDE, limite la RC des exploitants canadiens à 75 millions $CA/accident (55 millions €). Ces derniers, qui exploitent actuellement dix-huit réacteurs, couvrent leur plafond par un recours exclusif à l'assurance auprès de la *Nuclear Insurance Association* (NIA).

Pour comparer les résultats de Heyes et Liston-Heyes (1998 ; 2000b) aux nôtres, il faut disposer évidemment de résultats comparables. Cinq mises à jour et modifications

[137] Aux USA, la production d'électricité d'origine nucléaire se partage entre 26 exploitants (dont Exelon, Entergy ou FirstEnergy par exemple).
[138] Les détails techniques de cette seconde tranche de couverture sont analysés dans le chapitre 4.

concernant leurs travaux ont donc été entreprises. D'abord, datant d'avant 2005, leurs travaux n'intégraient pas les derniers amendements du *Price-Anderson Act* par lesquels le plafond de RC des exploitants nucléaires américains a été relevé, suivi d'une hausse de leur prime d'assurance. Nous y avons remédié en prenant en compte le plafond de 10,76 milliards $US (9 millions €), la part désormais couverte par l'assurance de 300 millions $US (228 millions €) et la prime actuellement payée par les exploitants de 750 000$US/réacteur/an (560 000€). De plus, le scénario pour lequel $\boldsymbol{D_3}$ = 70000 millions € ainsi que la prime de risque $\boldsymbol{R_i}$ = {5% ; 10%}, $\boldsymbol{i}$ = {1 ; 2}, que Heyes et Liston-Heyes n'avaient pas retenu dans leurs évaluations, ont été rajoutés à leurs calculs. Troisièmement, pour simplifier, seules les probabilités de fusion du cœur du réacteur $\boldsymbol{p_2} = 10^{-5}$ et $\boldsymbol{p_3} = 10^{-6}$, qui sont celles utilisées par Heyes et Liston-Heyes, ont été retenues. Pour la cohérence de la comparaison et bien qu'ils l'oublient dans leur modèle, la probabilité conditionnelle pour les accidents majeurs $\boldsymbol{p}_2^{'} = 0{,}19$ est aussi été intégrée à leurs calculs. Nous avons également corrigé leur erreur sur l'équation (8). Enfin, les conversions monétaires nécessaires des dollars US et dollars canadiens en Euros ont été opérées (sur la base de 1$US = 0,76€ et 1$CA = 0,65€) et seuls les résultats français intégrant les amendements de 2004 ont été comparés. Le tableau suivant met ainsi en perspective les résultats :

	France				Etats-Unis Heyes et Liston-Heyes (1998) mis à jour				Canada Heyes et Liston-Heyes (2000b) mis à jour			
	$\boldsymbol{p}_2 = 10^{-5}$		$\boldsymbol{p}_3 = 10^{-6}$		$\boldsymbol{p}_2 = 10^{-5}$		$\boldsymbol{p}_3 = 10^{-6}$		$\boldsymbol{p}_2 = 10^{-5}$		$\boldsymbol{p}_3 = 10^{-6}$	
Accidents majeurs (millions €)	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{R_2}$
D_1 = 10000	80	79	20	19	0,113	0,112	0,014	0,013	53	52	11,7	11,6
D_2 = 40000	315	310	250	230	49,5	49	26	25	170	167	99	90
D_3 = 70000	540	530	360	350	110	100	41	38	268	263	101	102
D_4 = 100000	730	670	540	510	196	192	110	101	356	350	209	205

Tableau 21. Les subventions implicites de RCN des exploitants français, américain et canadien en 2007 (en milliers€/réacteur/an)

En lisant ce tableau, il est frappant de voir combien les montants de subvention implicite pour la France sont différents de ceux des Etats-Unis et du Canada. En particulier, il est intéressant d'observer que les Etats-Unis, qui comptent presque deux fois plus de réacteurs nucléaires que la France, présentent néanmoins une subvention implicite de RC par unité de réacteur beaucoup plus faible. Les Etats-Unis présente une subvention implicite en moyenne 87% plus petite que la France. Trois explications peuvent être données à cet écart. Premièrement, la limite de RC couverte par les exploitants américains est 117 fois plus élevée

que celle actuellement en vigueur en France et encore treize fois plus élevée que le futur plafond mis en place par les Protocoles de 2004. Aux Etats-Unis, le risque est donc plus largement internalisé par les exploitants. Deuxièmement, le marché privé de l'assurance joue un rôle beaucoup plus important aux Etats-Unis dans la couverture du risque nucléaire qu'en France, et plus généralement qu'en Europe[139]. Enfin, l'Etat américain n'a qu'un rôle de régulateur. Il n'intervient pas dans la couverture du risque.

Comment expliquer la subvention implicite relativement basse du Canada ? A première vue, il est surprenant d'observer que, en dépit d'un plafond de RC plus faible (55 millions €), les exploitants nucléaires canadiens bénéficient d'une subvention implicite plus petite. La subvention implicite canadienne est en moyenne 52% plus faible que la subvention implicite française. En réalité, le plafond n'est pas le seul déterminant du niveau de la subvention. En effet, le calcul de la subvention implicite est basé sur une extrapolation de la prime d'assurance actuellement payée par les exploitants. Ainsi, le niveau de cette prime a un rôle crucial dans la détermination du montant de la subvention. Plus précisément, c'est le ratio (primes/dommages couverts) qui est important. Ce ratio, proche de ce qu'on appelle en finance *"loss ratio"*, est un indicateur de l'efficacité des compagnies d'assurance (Vernimmen, 2005). Plus ce ratio est proche de 1 (ou 100%), moins l'assurance est efficace. En effet, sur le marché, l'objectif des assureurs consiste à offrir la couverture la plus élevée possible en minimisant la prime exigée. En d'autres termes, l'assureur va chercher à maximiser son offre contre le prix le plus bas possible. Il peut y parvenir, par exemple, en diversifiant son portefeuille de risque et/ou en réduisant ses coûts internes. Dès lors, un ratio (prime/dommages couverts) bas signifie que, relativement, les dommages couverts sont élevés et la prime est faible. Puisque le modèle consiste à extrapoler la prime d'assurance actuelle, plus cette prime est basse (plus le ratio est petit), plus la prime extrapolée (et donc la subvention implicite) le sera aussi. En effet, la proportion entre la prime extrapolée et les dommages majeurs sera conservée. Pour ce qui est de notre comparaison, ce ratio s'élève à 0,15% pour le Canada, à 0,25% pour les Etats-Unis et à 0,36% pour la France. Le Canada présente donc un ratio favorable. Par rapport à la France, ce ratio est deux fois plus petit. En effet, les exploitants nucléaires canadiens payent une prime 25% inférieure à celle de l'exploitant français (82 500€/réacteur/an contre 110 345€/réacteur/an) pour une couverture de dommages pourtant 77% plus élevée (55 millions € contre 31 millions €). A cet égard, le marché de l'assurance nucléaire canadien paraît plus efficace que le marché assuranciel

[139] Le marché de l'assurance nucléaire est analysé dans le chapitre 3.

français. Il est donc logique qu'en extrapolant la prime actuelle, la subvention implicite canadienne reste inférieure à la subvention implicite française. Néanmoins, cette situation ne se réitère pas avec les Etats-Unis. En effet, bien que le ratio assuranciel (prime/dommages couverts) soit inférieur pour le Canada, ce n'est pas suffisant pour que la subvention implicite américaine excède la subvention implicite canadienne. Le désavantage des Etats-Unis en termes de ratio assuranciel est plus que compensé par le niveau très haut de leur plafond de RC.

L'évaluation effectuée ici est donc intéressante à plusieurs égards : elle permet de saisir l'ampleur de la subvention implicite de couverture dont bénéficie l'exploitant nucléaire français et autorise une comparaison internationale des résultats. Au-delà de l'exercice mathématique du calcul du montant de la subvention, la seconde question à examiner concerne les conséquences économiques d'une telle subvention.

3. Les conséquences économiques de la subvention implicite de RCN

Le montant de la subvention implicite de RC de l'exploitant nucléaire étant désormais calculé, il importe d'en examiner les conséquences économiques. Bien entendu, l'ampleur de ces conséquences dépend du niveau de la subvention. Nous rappelons que, même si le cas de la France est pris comme référence ici, l'analyse des conséquences de la subvention implicite a des implications pour les autres pays membres des Conventions AEN/OCDE, qui bénéficient aussi d'une limite de RC.

Analyser les conséquences économiques de la subvention de couverture des exploitants nucléaires est d'autant plus important que le débat sur les énergies de demain est en plein renouvellement. Alors que les marchés de l'énergie se déréglementent et que les énergies fossiles, encore très utilisées, sont très polluantes et se raréfient, la question de la production d'énergies futures propres et bon marché se pose avec urgence dans tous les pays du monde. Plus précisément, c'est dans le contexte de lutte contre l'effet de serre initiée par le Protocole de Kyoto en 1997, que l'énergie nucléaire trouve sa place. A la fois parce qu'elle n'émet pas de CO_2 dans l'atmosphère et parce qu'elle est abondante et bon marché, l'énergie nucléaire n'est plus écartée des discussions.

De là, si nous partageons l'opinion croissante selon laquelle l'énergie nucléaire a de l'avenir, il ne peut néanmoins être envisagé un redéploiement des investissements électronucléaires sans l'examen préalable des conséquences économiques de la subvention de

RC des exploitants. A l'aide des données issues des marchés de l'énergie (DGEMP, SFEN et EDF) et de la littérature de l'analyse économique du droit (Shavell, 1984a, 1984b ; Faure et Vanden Bergh, 1990) et de la réglementation (Kolstad *et alii*, 1990 ; Rust et Rothwell, 1995 ; Burrows, 1999), cette section a pour objectif d'examiner ces conséquences sous deux angles. En premier lieu, l'impact de la subvention implicite sur la compétitivité de l'énergie nucléaire est analysé (3.1). Pour ce faire, l'effet de la subvention implicite sur le prix de revient[140] du kWh nucléaire doit être calculé. En second lieu, la subvention implicite, comme le plafond de RC étudié dans le chapitre 1, réduit les incitations à la prévention. La nécessité de renforcer cette prévention est alors mise en avant. Les sources endogènes (effet de réputation) et exogènes (réglementation de sûreté) de prévention sont examinées (3.2).

3.1. Une compétitivité artificielle de l'énergie nucléaire ?

La première des conséquences économiques de la subvention implicite de RC de l'exploitant est relative à la compétitivité de l'énergie nucléaire. Le prix de revient de l'énergie nucléaire est aujourd'hui parmi les plus bas (0,03€/kWh). Vis-à-vis des énergies alternatives, l'énergie nucléaire est donc très compétitive. Dès lors, il est intéressant de se demander dans quelle mesure cet avantage comparatif serait affecté par la suppression de la subvention implicite de RCN. Sans cette subvention, et sans la limite de RC, les exploitants nucléaires seraient contraints d'internaliser et de couvrir l'intégralité des coûts du risque qu'il génère. Dans ce cas, la compétitivité de l'énergie nucléaire serait-elle plus faible qu'aujourd'hui ? Cette question sera tout d'abord traitée (3.1.1). La conclusion apportée par le paragraphe 3.1.1. permettra alors d'analyser la position de l'énergie nucléaire "non subventionnée" par rapport aux énergies concurrentes (3.1.2).

3.1.1. Un coût de production du kWh artificiellement bas ?

Aujourd'hui, l'énergie nucléaire est une des sources d'énergie les plus compétitives. Elle est produite à un coût plus faible que ses concurrentes. Ce coût bas est en majeure partie dû aux rendements d'échelle croissants dont bénéficient les centrales de production nucléaire de par leur grande taille et leurs spécificités techniques. Actuellement d'environ 0,03€ en Europe, le prix de revient du kWh nucléaire est très favorable à l'utilisation de cette énergie. Ce prix de revient a plusieurs composantes. Comme le montre le tableau suivant, il est

[140] Le prix de revient d'un produit est le coût déterminé comme la somme des coûts nécessaires pour concevoir, produire et distribuer ce produit. Il est aussi appelé "coût de revient" ou "coût de production".

constitué à 54% des coûts d'investissement (construction de la centrale nucléaire, intérêts intercalaires[141], provisions pour démantèlement), à 20% des coûts d'exploitation (opération, maintenance, taxes[142], coûts du personnel, autres charges), à 25% des coûts du combustible nucléaire (extraction et enrichissement d'uranium, retraitement du combustible et stockage des déchets) et à 1% des coûts de recherche et développement (DGEMP, 2003).

Poste	Coût (€)	Part dans le prix de revient
Investissement	0,0162	54%
Exploitation (dont assurance-RC)	0,006	20%
Combustible	0,0075	25%
Recherche et développement	0,0003	1%
TOTAL	**0,03**	**100%**

Tableau 22. Composition du prix de revient du kWh nucléaire en 2007

Quant au coût de l'assurance-RC payée par l'exploitant, il est également répercuté dans le prix de revient du kWh, au titre des charges d'exploitation. Notons que, du fait de son intensité capitalistique élevée, la compétitivité de l'énergie nucléaire est assurée à partir d'un certain seuil d'utilisation. Les centrales nucléaires doivent donc être utilisées en base[143] (Percebois, 1997). Dès lors, le fait que l'exploitant nucléaire bénéficie d'un régime de faveur quant à ses coûts de couverture du risque amène logiquement à en déduire que la répercussion du coût actuel d'assurance dans le prix de revient du kwh est artificiellement basse. Puisque les véritables coûts de l'exploitant ne sont pas reflétés dans le prix de revient (et donc pas dans le prix de vente) de l'électricité produite, la subvention implicite de couverture crée un biais en faveur de sa compétitivité. Cet argument rejoint celui de la théorie des défaillances de marché et de la théorie des externalités selon lequel tous les coûts générés par une activité économique doivent être intégrés dans le prix de vente du produit (Marshall, 1920 ; Pigou, 1920 ; Coase, 1960). C'est une des conséquences même de la règle de l'internalisation coasienne. Elle permet d'une part, au producteur d'assumer tous les coûts générés par son activité et d'autre part, de faire en sorte que le prix de vente de son produit soit un vecteur transparent d'information et un signal pour les consommateurs sur les véritables coûts de production du bien qu'ils achètent.

[141] La construction d'une centrale nucléaire est financée par emprunt. Comme pour la majorité des grosses constructions, cet emprunt est versé et débloqué en plusieurs étapes, à mesure de l'avancement de la construction. Le remboursement de l'emprunt par l'exploitant ne commence alors que lorsque les fonds ont été entièrement versés. Seuls les intérêts sont payés pendant la période qui court entre le premier versement effectué par le prêteur et le déblocage final des fonds. Ces "intérêts intercalaires" incluent la rémunération du prêteur et l'amortissement du capital. Dans l'industrie nucléaire, ils sont généralement calculés sur une période de 5 à 7 ans.
[142] Ces taxes sont les taxes professionnelle, foncière, locales et redevances diverses (DGEMP, 2003).
[143] Le fonctionnement en base d'une centrale nucléaire a été défini dans la note 47.

Or, si le prix de vente de l'électricité ne reflète pas l'intégralité des coûts du producteur et ne les répercute pas sur les consommateurs, sa compétitivité peut être considérée comme artificielle. La subvention implicite de RC de l'exploitant opère alors un transfert de richesse de l'industrie aux consommateurs puisque le prix dont ils s'acquittent est artificiellement réduit. Le prix du kWh nucléaire n'est donc pas aujourd'hui à son niveau "naturel" et émet un signal erroné aux consommateurs d'électricité. Cet artifice entraîne une surconsommation d'énergie nucléaire au-dessus de son niveau optimal. Elle est en effet sans doute plus élevée que ce qu'elle serait si le prix du kWh nucléaire reflétait les véritables coûts du risque (et donc était supérieur). On dit alors qu'elle est *sur*-optimale.

Comme le *Department of Energy* américain le soulignait déjà en 1978 : *"Without Price-Anderson, the utilities would have to purchase [full] liability insurance (…). These costs would be passed on to the consumer in higher electricity prices. The price of nuclear power would therefore increase and the utilities would have to decide whether nuclear power could be competitive and profitable in relation to other energy sources"*[144] (*Pacific Northwest National Laboratory*, 1978, p.116). Le prix du kWh nucléaire serait donc naturellement affecté à la hausse par la suppression de la subvention implicite de RCN. Mais dans quelle proportion ? A quel degré la compétitivité de l'énergie nucléaire serait-elle affectée ?

A partir de nos résultats pour la France, deux impacts peuvent être calculés : l'impact de la couverture intégrale des coûts du risque sur la rentabilité de l'exploitant nucléaire et son impact sur sa compétitivité.

L'étude de l'impact de la couverture intégrale des coûts du risque sur la rentabilité de l'exploitant nucléaire revient à examiner dans quelle mesure elle serait financièrement soutenable pour l'exploitant. Examinons donc la part que représente la subvention implicite de RC dans le bénéfice annuel de l'exploitant français. Ce ratio fournit un indicateur pertinent car il révèle dans quelle mesure l'exploitant est (implicitement) financièrement soutenu par les Conventions AEN/OCDE. Les données des années 2000-2006 pour le bénéfice d'EDF sont retenues ici. Les rapports financiers publiés par l'exploitant donne alors un bénéfice annuel

[144] *"Sans le* Price-Anderson, *les exploitants devraient s'acquitter d'une police d'assurance-RC [intégrale] (...). Ces coûts seraient répercutés sur le consommateur par l'intermédiaire de prix de l'électricité plus élevés. Le prix de l'énergie nucléaire augmenterait donc et les exploitants devraient alors juger dans quelle mesure l'énergie nucléaire est compétitive et rentable vis-à-vis des autres sources d'énergie".*

moyen de 1,7 milliards €[145] (EDF, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004a, 2005, 2006). En reprenant maintenant les montants de subvention implicite trouvés pour la France, la subvention implicite peut alors être calculée, pour les cinquante-huit réacteurs nucléaires français. Les valeurs actuelles et futures de la subvention totale sont présentées dans les deux tableaux suivants :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0.19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0.19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0.19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	38,86	37,7	16,82	16,24	8,7	8,12
D_2 = 40000	98,02	96,86	35,38	34,22	30,74	28,42
D_3 = 70000	148,48	145	51,04	49,3	37,7	36,54
D_4 = 100000	191,4	185,6	63,22	58,58	50,46	48,14

Tableau 23. Montants actuels de la subvention implicite de RC pour la totalité du parc nucléaire français (en millions €/an)

De la même manière que pour les montants de subvention par unité de réacteur, les montants de subvention totale augmente de D_1 à D_4 et diminuent entre R_1 et R_2 et entre p_1 et p_3.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0.19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0.19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0.19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	18,56	17,98	4,64	4,582	1,16	1,102
D_2 = 40000	71,34	70,76	18,27	17,98	14,5	13,34
D_3 = 70000	118,32	110,2	31,32	30,74	20,88	20,3
D_4 = 100000	162,4	156,6	42,34	38,86	31,32	29,58

Tableau 24. Montants de la subvention implicite de RC pour la totalité du parc nucléaire français avec les amendements de 2004 (en millions €/an)

De la même manière que pour les montants de subvention par unité de réacteur, les montants de subvention totale diminuent avec les amendements de 2004.

[145] Les bénéfices annuels (en Milliards €) sont en effet les suivants : 1,141 pour 2000, 0,841 pour 2001, 0,481 pour 2002, 0,857 pour 2003, 1,3 pour 2004, 3,2 pour 2005 et 5,6 en 2006.

Rapportées au bénéfice moyen annuel de l'exploitant français, ces valeurs donnent les parts actuelles et futures de la subvention implicite dans ce bénéfice :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0.19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0.19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0.19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	2,29%	2,22%	0,99%	0,96%	0,51%	0,48%
D_2 = 40000	5,77%	5,70%	2,08%	2,01%	1,81%	1,67%
D_3 = 70000	8,73%	8,53%	3,00%	2,90%	2,22%	2,15%
D_4 = 100000	11,26%	10,92%	3,72%	3,45%	2,97%	2,83%

Tableau 25. Part actuelle de la subvention implicite de RC sur le bénéfice moyen annuel de l'exploitant français (par an)

La part actuelle de la subvention implicite de RC sur le bénéfice annuel de l'exploitant français s'étend de 0,48% à 11,26% et est en moyenne de 3,7%.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0.19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0.19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0.19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	1,09%	1,06%	0,27%	0,27%	0,07%	0,06%
D_2 = 40000	4,20%	4,16%	1,07%	1,06%	0,85%	0,78%
D_3 = 70000	6,96%	6,48%	1,84%	1,81%	1,23%	1,19%
D_4 = 100000	9,55%	9,21%	2,49%	2,29%	1,84%	1,74%

Tableau 26. Part de la subvention implicite de RC sur le bénéfice moyen annuel de l'exploitant français avec les amendements de 2004 (par an)

La part de la subvention implicite de RC sur le bénéfice annuel de l'exploitant français avec les amendements de 2004 s'étend de 0,06% à 9,55% et est en moyenne de 2,6%.

La part de la subvention implicite de RC dans le bénéfice moyen annuel de l'exploitant nucléaire français est donc plus ou moins importante selon les scénarios. Elle n'a pas le même impact sur sa rentabilité si elle ampute 0,06% de son bénéfice moyen (soit 1100€/an à bénéfice annuel constant) ou si elle en ampute 11,26% (soit 191 000€/an à bénéfice annuel constant). Ce bénéfice comprend les activités d'EDF toutes confondues, nucléaire et hors nucléaire. Aussi, c'est la part seule du bénéfice imputable aux activités nucléaires qui serait réduite. Quoi qu'il en soit, étant donné les bénéfices importants d'EDF, même la part la plus élevée, donnée par le scénario le plus pessimiste, ne menacerait pas la rentabilité de l'exploitant français. Sa santé financière serait à peine affaiblie par la couverture intégrale de ses coûts du risque. Ce fait incite à défendre, avec encore plus de vigueur, la nécessité pour

des exploitants de grande taille et solvables comme EDF d'internaliser et de couvrir la totalité de leur risque. Ces exploitants ont l'assise financière pour assumer leurs responsabilités. Pour les multiples raisons invoquées dans le chapitre 1, ils devraient donc honorer eux-mêmes cette obligation.

Dès lors, dans quelle mesure le prix de revient (et, de là, le prix de vente) du kWh nucléaire serait-il affecté par la couverture intégrale des coûts du risque par l'exploitant ? Quelque soit l'impact de cette couverture intégrale sur la rentabilité de l'exploitant, il devra répercuter cette charge additionnelle sur son prix. La mesure de cette répercussion va se faire en deux étapes.

Premièrement, les montants de subvention calculés dans la section précédente (/réacteur/an) sont ramenés au nombre moyen de kilowattheures produits chaque année par une centrale nucléaire en France. Notons par ailleurs que cet exercice avait été entrepris par Heyes et Liston-Heyes (1998, 2000b) dans leurs évaluations américaine et canadienne. Ce calcul permet d'obtenir le montant de la subvention implicite (et donc des coûs supplémentaires à répercuter) exprimé en "kWh par an". Sachant qu'un réacteur nucléaire français, d'une capacité moyenne de 1000MW, produit environ 7 milliards de kilowattheures par an, on obtient alors les montants actuels et futurs de la subvention implicite à répercuter dans le prix de revient suivants :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$P_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,0000957	0,0000929	0,0000414	0,0000400	0,0000214	0,0000200
D_2 = 40000	0,0002414	0,0002386	0,0000871	0,0000843	0,0000757	0,0000700
D_3 = 70000	0,0003657	0,0003571	0,0001257	0,0001214	0,0000929	0,0000900
D_4 = 100000	0,0004714	0,0004571	0,0001557	0,0001443	0,0001243	0,0001186

Tableau 27. Montant actuel de la subvention implicite de RC par kWh (€/an)

Ces montants varient entre 0,00002€/an et 0,0004714€/an. Ils ne représentent que quelques millièmes de centimes par an dans le prix de revient du kWh nucléaire.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$P_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,0000457	0,0000443	0,0000114	0,0000113	0,0000029	0,0000027
D_2 = 40000	0,0001757	0,0001743	0,0000450	0,0000443	0,0000357	0,0000329
D_3 = 70000	0,0002914	0,0002714	0,0000771	0,0000757	0,0000514	0,0000500
D_4 = 100000	0,0004000	0,0003857	0,0001043	0,0000957	0,0000771	0,0000729

Tableau 28. Montant de la subvention implicite de RC par kWh avec les amendements de 2004 (€/an)

Ces montants varient entre 0,0000027€/an et 0,0004€/an. Conformément à nos résultats précédents, ils ont baissé avec les amendements de 2004.

La seconde étape, la plus intéressante, consiste à simuler la répercussion de cette nouvelle charge dans le prix de revient actuel du kWh. Sachant que ce prix est actuellement de 0,03€, le prix de revient du kWh nucléaire "non subventionné" est alors égal à :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,030096	0,030093	0,030041	0,030040	0,030021	0,030020
D_2 = 40000	0,030241	0,030239	0,030087	0,030084	0,030076	0,030070
D_3 = 70000	0,030366	0,030357	0,030126	0,030121	0,030093	0,030090
D_4 = 100000	0,030471	0,030457	0,030156	0,030144	0,030124	0,030119

Tableau 29. Prix de revient actuel "non subventionné" du kWh nucléaire (€/an)

Le prix de revient "non subventionné" du kWh nucléaire s'élèverait donc entre 0,030020€/an et 0,030471€/an.

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,0300457	0,0300443	0,0300114	0,0300113	0,0300029	0,0300027
D_2 = 40000	0,0301757	0,0301743	0,0300450	0,0300443	0,0300357	0,0300329
D_3 = 70000	0,0302914	0,0302714	0,0300771	0,0300757	0,0300514	0,0300500
D_4 = 100000	0,0304000	0,0303857	0,0301043	0,0300957	0,0300771	0,0300729

Tableau 30. Prix de revient "non subventionné" du kWh nucléaire avec les Protocoles de 2004 (€/an)

Avec les amendements de 2004, le prix de revient "non subventionné" du kWh nucléaire serait plus faible et s'élèverait entre 0,0300027€/an et 0,0304€/an.

Ces deux derniers tableaux illustrent l'impact faible que pourrait avoir la couverture intégrale des coûts du risque sur le prix de revient du kWh nucléaire. En effet, le prix de revient du kWh serait en moyenne de 0,030516€ avant les amendements de 2004, soit une augmentation moyenne de 0,5% par rapport au prix de revient subventionné. Après les amendements de 2004, le prix moyen du kWh est de 0,030107€, soit une hausse moyenne de 0,4% par rapport au prix de revient subventionné. Conformément à nos résultats précédents, les hausses les plus importantes constatées sont dues au scénario le plus pessimiste. En effet, avec ce scénario, le prix de revient augmente respectivement de 1,6% et 1,3% avant et après les amendements de 2004.

Comment se positionnent ces résultats par rapport à l'étude ExternE pour la France ? Dans la section précédente, nous avons présenté cette étude. Pour la France, elle donnait un coût externe égal à 0,00000464€/kWh. Le prix de revient du kWh intégrant ce coût externe serait alors égal à 0,03000464€. Comme pour la subvention implicite de couverture, l'impact du coût externe sur le prix de revient du kWh est faible. Toutefois, comme nous l'avions auguré plus haut, nos résultats sont (légèrement) plus élevés. Ils le sont en moyenne de 0,51% avant les amendements de 2004 et de 0,35% après.

Bien que la hausse du prix de revient du kWh nucléaire soit faible, la compétitivité de l'énergie nucléaire vis-à-vis des autres sources d'énergie est-elle conservée ?

3.1.2. La compétitivité de l'énergie nucléaire vis-à-vis des énergies alternatives

A fin de comparaison, les principales sources d'énergie qui peuvent être considérées comme concurrentes de l'énergie nucléaire en matière de production d'électricité (par production directe ou par production thermique) sont retenues. Elles sont les énergies fossiles telles que le charbon, le gaz ou le fioul et les énergies renouvelables telles que les énergies hydraulique, éolienne, géothermique, biomassique et solaire. Les places respectives de ces différentes sources d'énergie en France, en Europe et dans le monde ont été présentées dans l'introduction générale. Avec l'énergie nucléaire (17% de la production mondiale d'électricité), les centrales à charbon (39%), à gaz (15%), au fioul (10%) et les centrales hydrauliques (16,8%) sont les installations électriques les plus courantes dans le monde. Quant aux énergies renouvelables autres que l'énergie hydraulique, elles ne concernent que 2,2% de la production mondiale d'électricité. En France, cette répartition est plus déséquilibrée : la production

d'électricité provient, pour 2006, à 85,7% de l'énergie nucléaire, à 5% de l'énergie hydraulique et à 8,1% des centrales à charbon, gaz et fioul. Bien que le secteur se développe, la part des énergies renouvelables, en particulier celle de l'énergie éolienne, est encore négligeable en France (1,2%).

Le tableau suivant nous présente le prix de revient actuel du kWh de ces différentes alternatives à l'énergie nucléaire (source: SFEN) :

Source d'électricité	Prix de revient du kWh
Energie Nucléaire	**0,03**
Charbon	0,0337
Gaz	0,035
Hydraulique	0,04
Fioul[146]	$\geq$0,05
Eolien	0,06
Géothermie	0,06
Biomasse	0,10
Solaire	0,15

Tableau 31. Prix de revient des différentes sources d'électricité en 2007 (en €/kWh)

A l'aide de ce tableau et des Tableaux 29 et 30 précédents, l'impact relatif de la subvention implicite sur la compétitivité de l'énergie nucléaire peut être examiné. Le tableau suivant récapitule la position relative de l'énergie nucléaire non subventionnée vis-à-vis de ses alternatives selon les scénarios $\boldsymbol{D_i}$.

[146] Le fioul est un combustible dérivé du raffinage du pétrole. Son prix est donc fortement dépendant des fluctuations du prix du pétrole, ce qui explique que le prix de 0,05€/kWh doit être compris comme une valeur indicative susceptible de fluctuer à la hausse.

Rang	Nucléaire non subventionné							
	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$			$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$		
	$R_1 = 5\%$		$R_2 = 10\%$	$R_1 = 5\%$	$R_2 = 10\%$	$R_1 = 5\%$	$R_2 = 10\%$	
	Source (prix)		Source (prix)	Source (prix)	Source (prix)	Source (prix)	Source (prix)	
1	Nucléaire		Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire	
	D_1	0,0300457	0,0300443	0,0300114	0,0300113	0,0300029	0,0300027	
	D_2	0,0301757	0,0301743	0,030045	0,0300443	0,0300357	0,0300329	
	D_3	0,0302914	0,0302714	0,0300771	0,0300757	0,0300514	0,03005	
	D_4	0,0304	0,0303857	0,0301043	0,0300957	0,0300771	0,0300729	
2	Charbon (0,0337)		Charbon (0,0337)	Charbon (0,0337)	Charbon (0,0337)	Charbon (0,0337)	Charbon (0,0337)	
3	Gaz (0,035)		Gaz (0,035)	Gaz (0,035)	Gaz (0,035)	Gaz (0,035)	Gaz (0,035)	
4	Hydraulique (0,04)		Hydraulique (0,04)	Hydraulique (0,04)	Hydraulique (0,04)	Hydraulique (0,04)	Hydraulique (0,04)	
5	Fioul ($\geq$0,05)		Fioul ($\geq$0,05)	Fioul ($\geq$0,05)	Fioul ($\geq$0,05)	Fioul ($\geq$0,05)	Fioul ($\geq$0,05)	
6	Eolien (0,06)		Eolien (0,06)	Eolien (0,06)	Eolien (0,06)	Eolien (0,06)	Eolien (0,06)	
	Géothermie (0,06)		Géothermie (0,06)	Géothermie (0,06)	Géothermie (0,06)	Géothermie (0,06)	Géothermie (0,06)	
7	Biomasse (0,1)		Biomasse (0,1)	Biomasse (0,1)	Biomasse (0,1)	Biomasse (0,1)	Biomasse (0,1)	
8	Solaire (0,15)		Solaire (0,15)	Solaire (0,15)	Solaire (0,15)	Solaire (0,15)	Solaire (0,15)	

Tableau 32. Position relative de l'énergie nucléaire non subventionnée vis-à-vis de ses alternatives (avec les amendements de 2004)

D'après ce tableau, malgré la (légère) hausse du prix de revient du kWh nucléaire, la compétitivité de l'énergie nucléaire vis-à-vis de ses alternatives n'est pas affectée. Elle reste en effet au premier rang devant les énergies fossiles et renouvelables, et ce, quelque soit D_i, p_i et R_i. L'énergie nucléaire est juste devant le charbon et le gaz et reste loin devant les énergies renouvelables. Parmi ces dernières, seule l'énergie hydraulique reste dans des prix de revient comparables. La situation avant les amendements de 2004 est similaire.

Notons que le prix de revient des énergies fossiles, présentées dans le Tableau 31, inclut leurs externalités négatives. En particulier, il reflète le fait qu'elles rejettent des émissions de (CO_2), très polluantes pour l'atmostphère. Les énergies fossiles contribuent donc fortement à l'effet de serre. La prise en compte du caractère polluant de ces énergies se traduit, en France, par les taxes dont elles sont affectées. Parmi elles, on trouve, par exemple, la TICGN (Taxe Intérieure sur la Consommation du Gaz Naturel) pour le gaz ou la TIPP (Taxe Intérieure de consommation sur les Produits Pétroliers) pour le fioul[147]. Ces coûts externes peuvent alors être considérés comme internalisés. Nous comparons ici deux types

[147] On peut rajouter à ces taxes la taxe IFP (Institut Français du Pétrole) ou la TGAP (Taxe Générale sur les Activités Polluantes) qui s'inscrivent aussi dans les politiques de lutte contre l'effet de serre. La question de la mise en place d'une écotaxe carbone, notamment en Europe, est actuellement en débat.

d'internalisation : l'internalisation d'un *risque* de dommages (dans le cas de l'énergie nucléaire) et l'internalisation d'unités de dommages *réalisés* (pollution atmosphérique). Alors que la première est de nature coasienne, la seconde est de nature pigouvienne, puisqu'elle opère à travers la mise en place de taxe[148].

Pour conclure, nos résultats peuvent être comparés avec ceux de Heyes et Liston-Heyes pour les Etats-Unis (1998) et le Canada (2000). Dans le but de pouvoir disposer de résultats comparables, nos mises à jour de leurs résultats sont reprises (voir p.146). Pour plus de lisibilité, seuls les résultats pour la probabilité de fusion du cœur du réacteur $p_2 = 10^{-5}$ sont présentés. La comparaison des résultats pour les probabilités $p_1 = 10^{-4}$ et $p_3 = 10^{-6}$ est du même ordre. En supposant que les réacteurs nucléaires américains et canadiens produisent la même quantité moyenne de kilowattheures par an (7 milliards), le tableau suivant met en perspective l'impact de la subvention implicite sur le prix de revient du kWh nucléaire en France (avec les amendements de 2004), aux Etats-Unis et au Canada :

	France		Etats-Unis Heyes et Liston-Heyes (1998) mis à jour		Canada Heyes et Liston-Heyes (2000b) mis à jour	
	$p_2=10^{-5}$; p_2'		$p_2=10^{-5}$; p_2'		$p_2=10^{-5}$; p_2'	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,0300114	0,0300113	0,0300000161	0,0300000160	0,0300075714	0,0300074286
D_2 = 40000	0,0300450	0,0300443	0,0300070714	0,0300070000	0,0300242857	0,0300238571
D_3 = 70000	0,0300771	0,0300757	0,0300157143	0,0300142857	0,0300382857	0,0300375714
D_4 = 100000	0,0301043	0,0300957	0,0300280000	0,0300274286	0,0300508571	0,0300500000

Tableau 33. Prix de revient "non subventionné" du kWh nucléaire pour les Etats-Unis, le Canada et la France (€/an)

Au regard de ce tableau, les résultats des Etats-Unis et du Canada sont plus favorables que les résultats français. Etant donné que les subventions implicites de RCN américaine et canadienne sont respectivement 87% et 52% plus faibles que la subvention implicite française (voir Tableau 21, p.146), les montants à répercuter sur le prix de revient du kWh nucléaire sont réduits dans les mêmes proportions. La compétitivité de l'énergie nucléaire est donc favorisée aux Etats-Unis et au Canada par rapport à la France. Toutefois, comme pour la France, la répercussion de la subvention implicite dans ces pays ne représente qu'un infime montant (inférieur ou égal à un centième de centime d'euro par kWh). Par conséquent, malgré

[148] On pourrait bien évidemment calculer le coût de ces dommages réalisés sur la base d'une internalisation coasienne de manière à opérer une comparaison homogène, mais il s'agit là d'un travail différent des objectifs posés en introduction.

des répercussions 87% et 52% plus faibles, les différences d'impact sur le prix de revient entre ces pays et la France semblent négligeables. Elles ne sont pas immédiatement perceptibles au niveau du prix du kWh. Pourtant, elles sont frappantes lorsque l'on compare les montants de subvention implicite entre eux. Aussi, faut-il être prudent en lisant ce tableau et ne pas conclure trop hâtivement à un impact globalement égal de la subvention implicite sur l'industrie nucléaire dans ces trois pays. Etant donné que les réacteurs nucléaires produisent une très grande quantité d'électricité (7 milliards de kWh par an en France), la charge de la couverture intégrale des coûts du risque serait répartie sur l'ensemble de la production. De ce fait, la compétitivité de l'énergie nucléaire serait très peu affectée au niveau du prix de revient du kWh. Ce prix resterait plus attractif que ses alternatives. En revanche, c'est la rentabilité globale des exploitants qui serait réduite du poids de la charge supplémentaire de couverture. Nous avons montré plus haut que ce poids serait compris, pour l'exploitant français, entre 0,06% et 11,26% de son bénéfice annuel moyen (Tableau 25, p.153). Ce poids est soutenable pour l'exploitant.

Aussi, s'il devait couvrir intégralement ses coûts du risque, deux solutions seraient envisagées. Soit l'exploitant maintiendrait artificiellement le prix de revient du kWh nucléaire à 0,03€ et son bénéfice serait alors amputé du poids de la couverture supplémentaire. Dans ce cas, le prix de vente de l'électricité resterait indirectement subventionné mais les dommages d'un accident seraient entièrement couverts par l'exploitant (entre 10 milliards € et 100 milliards € selon les scénarios). Il y aurait toutefois distorsion dans la règle de l'internalisation coasienne puisque le prix ne refléterait pas les véritables coûts du producteur.

Soit l'exploitant répercuterait sa nouvelle charge de couverture dans son prix de revient et donc dans son prix de vente. Le prix de vente de l'électricité serait alors à son niveau "naturel" et deviendrait un prix non subventionné. La conséquence en serait doublement profitable : les consommateurs français paieraient à peine plus cher le prix de leurs kilowattheures électriques consommés et les dommages d'un accident nucléaire seraient couverts par l'exploitant. Le prix de vente de l'électricité aux consommateurs finals comprend des éléments fixes et des éléments proportionnels (selon les caractéristiques de l'électricité fournie). Les éléments fixes sont : le prix de revient de toutes les sources d'électricité utilisées dans la production, le coût du transport et de distribution (acheminement) de l'électricité jusqu'aux consommateurs, le coût de commercialisation (publicité, gestion de la clientèle), la TVA, les taxes spécifiques à l'électricité (comme la CCSPE, la contribution aux charges de service public de l'électricité) et la marge du fournisseur. Les éléments proportionnels sont la puissance à laquelle l'électricité est fournie aux clients, la période (jour/nuit) et la durée

d'utilisation. Pour l'usage domestique, le prix du kWh électrique s'élève en France, en 2007, à 0,121€. Sachant qu'un ménage français consomme en moyenne 3500 kWh par an d'électricité, sa facture annuelle moyenne s'élève à 423,50€ (DGEMP/OEEMP, 2007). Parmi ces différents éléments, l'impact de la très légère hausse du prix de revient du kWh nucléaire devrait à peine alourdir la facture.

Au final, contre un prix à la consommation légèrement plus élevé, les consommateurs auraient ainsi la garantie qu'ils seraient indemnisés en cas d'accident (les consommateurs et les victimes étant considérés comme les mêmes individus). De plus, les fonds publics non utilisés à cette fin seraient autant d'impôt dont les contribuables (potentiellement aussi victimes) seraient allégés. Cette solution serait donc bénéfique tant du point de vue de l'efficacité économique que du bien être social.

On peut conclure de cette première analyse des conséquences de la subvention implicite de RC des exploitants nucléaires qu'elle affecte finalement peu la compétitivité de l'énergie nucléaire. De plus, l'analyse a également montré que la couverture intégrale des coûts du risque par l'exploitant français serait financièrement soutenable et socialement souhaitable. Contrairement à ce que les Conventions AEN/OCDE laissent présager, cet impératif est donc faisable.

Le chapitre 1 a montré que la limite de RC pouvait avoir un effet désincitatif sur le comportement de l'exploitant vis-à-vis de la prévention des accidents nucléaires. Or, la limite de RC est à l'origine de la subvention implicite de couverture. Aussi, l'effet négatif se répercute-t-il sur la subvention qui devient, à son tour, désincitative. Quels sont alors les remèdes à cette sous-dissuasion ?

3.2. La nécessité de renforcer la prévention des accidents nucléaires

Du fait du plafond de RC, le coût de couverture du risque nucléaire est artificiellement bas. La prime d'assurance, par exemple, ne traduit pas les véritables coûts du risque que génère l'exploitant assuré. A ce propos, le chapitre 1 a montré que, de manière rationnelle, l'exploitant fixe son niveau de précaution au niveau de ses ressources engagées au titre de sa responsabilité. Si sa responsabilité est limitée, son niveau de précaution le sera donc aussi. Or, comme en vertu des Conventions AEN/OCDE, l'exploitant a l'obligation de couvrir son plafond de RC, il fixera alors son niveau de précaution, non pas au niveau de son plafond de

RC, mais au niveau de son coût de couverture (de sa prime d'assurance). Par définition, le coût de couverture est inférieur aux montants couverts. En conséquence, plus le plafond de RC est bas, plus le coût de couverture est faible et plus la subvention implicite est élevée. Le montant de la subvention a donc un effet désincitatif plus ou moins important sur l'exploitant à adopter un comportement de précaution. Le chapitre 1 a mentionné cet effet, connu sous le nom d'*underdeterrence*. Etudier cet effet sous l'angle de la subvention de couverture, plutôt que sous l'angle de la limite de RC, est intéressant car, obligé de s'assurer, l'exploitant perd de toute façon sa prime d'assurance en fin d'année, qu'il se produise ou non un accident, qu'il soit ou non précautionneux. Tout ce qu'il risque au final en étant négligeant, c'est uniquement que son assureur revoie sa prime à la hausse l'année suivante pour le sanctionner de ce comportement. Or, il n'est pas sûr que cette hausse constitue un élément suffisamment incitatif pour contrebalancer le premier effet.

En matière nucléaire, aucune négligence ne peut cependant être tolérée, du fait de l'irréversibilité des dommages. Quels peuvent alors être les remèdes à cette sous-dissuasion ? Comment renforcer la dimension préventive des Conventions de RCN et ainsi corriger l'effet désincitatif de la subvention implicite de couverture ? Il existe en réalité deux sources supplémentaires de prévention des accidents nucléaires : tout d'abord, une source endogène d'incitations, "l'effet de réputation" (3.2.1), puis une source exogène, la réglementation de sûreté (3.2.2). Cette seconde source est particulièrement importante car, dans la littérature, la réglementation et les règles de RC sont traditionnellement perçues comme des instruments substituables pour contrôler un risque. Pourtant, en pratique, elles sont souvent combinées pour renforcer mutuellement leur dimension incitative.

3.2.1. Une source endogène de prévention du risque : l'effet de réputation

Depuis les années 1960, l'énergie nucléaire suscite des sentiments d'inquiétude dans l'opinion publique concernant la sûreté des centrales. L'accident tragique de Tchernobyl en 1986 a porté un rude coup à la réputation de la filière, dont elle ne s'est jamais complètement relevée. Les médias et l'opinion publique ont eu tendance à faire l'amalgame entre les caractéristiques de conception du réacteur de Tchernobyl et celles des centaines d'autres types de réacteurs en exploitation dans le monde. Depuis, le risque nucléaire est souvent perçu comme un risque "inacceptable" alors que d'autres filières énergétiques génèrent des risques moins maîtrisés et pourtant non moins graves. Bien que de nouveaux programmes électronucléaires soient relancés dans le monde, en particulier en Asie, la réputation de

l'industrie ne tient encore qu'à un fil. Elle doit sans cesse renouveler son capital confiance qui, long à se construire, s'émousse au moindre incident sans gravité ou à la moindre rumeur d'incident.

Avec le temps, les exploitants nucléaires ont donc développé une culture de la sûreté pour maintenir la réputation de leur activité (Brissette, 2005). La sûreté est devenue un bien collectif que tout acteur de la chaîne de production a intérêt à produire pour préserver la confiance et la pérennité de l'industrie. On imagine très bien que la survenance d'un second Tchernobyl détériorerait aujourd'hui son image et sonnerait le glas de l'industrie. Les exploitants nucléaires ont donc beaucoup à perdre à être négligents. Vulnérables, ils encourent un "risque de réputation". Cette expression désigne le risque financier que subissent des entreprises dont l'image de marque pourrait être ternie par des scandales, notamment liés à leurs pratiques sociales et environnementales. Difficile à évaluer en raison du manque d'éléments objectifs permettant d'une part de mesurer la valeur d'une marque et d'autre part la réalité du risque de scandale couru par une entreprise, il demeure néanmoins suffisamment tangible pour être une des principales raisons incitant les entreprises à s'engager dans des démarches de responsabilité sociale et environnementale.

De plus, les exploitants côtés en bourse ont intérêt à prévenir les accidents nucléaires pour maintenir, non seulement leur réputation, mais aussi la valeur de leur titre. C'est le cas, par exemple, d'EDF qui a ouvert 15% de son capital en bourse le 21 novembre 2005 au prix de 32€ par action. Malgré des débuts difficiles, son action croît régulièrement. Elle était cotée, au 28.08.07, à 73,89€ (Gadonneix, 2007). Mais il suffirait qu'un accident, même de faible ampleur, se produise sur une de ses installations pour que sa cote baisse, voire chute. La littérature économique traite de cette question en montrant combien la réputation d'une entreprise peut en affecter la valeur mais aussi la crédibilité. Sur les marchés financiers, la réputation joue un rôle essentiel. Elle fait partie du *goodwill* (ou "survaleur") de l'entreprise cotée, c'est-à-dire de l'ensemble des éléments non matériels qui contribuent à sa valeur (comme une marque par exemple). Elle est considérée comme un actif non spéculatif de l'entreprise (Laurent, 2005). Il existe, par ailleurs, plusieurs agences de notation qui mesurent et analysent la réputation et l'image des entreprises. En France, on peut citer l'Observatoire de la Réputation, association Loi de 1901, créée en septembre 1994. Cet Observatoire a créé le "*Reputation Index*" qui rassemble les dix sociétés du CAC 40 les mieux notées sous cet angle. Cet indice illustre que la réputation est un puissant facteur d'amortissement des "chocs" tels

que des résultats négatifs ou des négligences réglementaires qui affectent peu la valeur de l'entreprise réputée. *"Une bonne réputation amoindrit l'impact de la crise (…). C'est ainsi que des entreprises qui, durant longtemps, ne se soucièrent guère de leur image comme le groupe pétrolier français Total restent en queue des classements d'entreprises depuis les catastrophes de l'Erika et de l'usine AZF"* (Libaert, 2007). A la suite des procès de l'Erika et de l'usine AZF, l'image de Total a été fortement écornée, accusé de négligence. En octobre 2006, le groupe figurait à la dernière place du classement d'Ipsos de trente grandes entreprises en termes d'image. La sûreté devient donc un véritable outil de gestion de l'entreprise. Aussi, pour conserver le soutien de l'opinion publique et l'attractivité des investisseurs, les exploitants nucléaires ont-ils intérêt à être précautionneux.

L'effet de réputation est donc en lui-même une puissante motivation à prévenir les accidents. En conséquence, bien que le plafond de RC et la subvention implicite de couverture soient désincitatifs, on peut considérer que leurs effets soient réduits par celui-ci.

Cet effet est une source d'incitation endogène à la prévention des accidents. Néanmoins, la réputation de l'industrie nucléaire n'aurait aucune assise sans la crédibilité de ses autorités de sûreté. Aussi, par l'intermédiaire de la réglementation, ces autorités ont-elles un rôle central à jouer dans la prévention des accidents.

3.2.2. Une source exogène de prévention du risque : la réglementation de sûreté

La sûreté nucléaire est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets[149].

La raison principale qui fonde la nécessité d'une réglementation en matière de sûreté nucléaire rejoint dans une large mesure les critères économiques développés entre autres par Shavell (1984a, 1984b, 1986b) : les règles de RC peuvent ne pas avoir un effet suffisamment incitatif sur le comportement de l'auteur du risque à cause des problèmes de preuve, de

[149] On rencontre aussi le terme "radioprotection" ou "sécurité nucléaire". La radioprotection est la protection contre les rayonnements ionisants, c'est-à-dire l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement. La sécurité nucléaire est un terme plus général qui comprend la sûreté nucléaire, la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actes de malveillance, ainsi que les actions de sécurité civile en cas d'accident.

causalité, de latence du risque, d'insolvabilité de l'exploitant et/ou d'une limite financière à la RC. Aussi, dans l'industrie nucléaire, la réglementation représente un instrument indispensable pour garantir un certain niveau de sûreté des centrales, et ainsi, prévenir les accidents. Elle contribue à sauvegarder l'image de l'industrie et appuie la crédibilité des choix politiques en faveur de l'énergie nucléaire et plus généralement des politiques environnementales (Dewees *et alii*, 1996 ; Boyer et Porrini, 2002). Dans le processus réglementaire, les Autorités de sûreté nucléaire ont un rôle capital (3.2.2.1). Tous les pays nucléarisés sont, par ailleurs, dotés d'un dispositif puissant de sûreté et de contrôle des installations nucléaires. La réglementation devient ainsi un complément essentiel à la RC (3.2.2.2).

3.2.2.1. Les Autorités de sûreté nucléaire et le processus réglementaire

En matière de sûreté nucléaire, en quoi consiste le processus réglementaire ?

La réglementation de sûreté nucléaire consiste en l'établissement et l'imposition de normes de sûreté aux exploitants. Ces normes sont soit des standards technologiques (procédés techniques, matériaux de construction), soit des standards de procédures (conduite en cas d'incident, routines de maintenance). En échange du respect de ces normes, les exploitants acquièrent des autorisations de construction et/ou d'exploitation. Juridiquement, ces autorisations (ou licences) sont des actes administratifs. Elles sont mises en place puis contrôlées par les agences administratives en charge de la sûreté nucléaire. Ces agences sont présentes aux niveaux international et national.

Au niveau international, la réglementation en matière de sûreté nucléaire est prise en charge par l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique) et l'AEN. L'AIEA est une organisation intergouvernementale, créée en 1957 et basée à Vienne, qui dépend directement de l'ONU. Ses objectifs, inscrits dans l'article II de ses statuts, sont formulés comme suit : *"L'Agence s'efforce de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier. Elle s'assure, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires"*[150]. L'AIEA établit les normes de sûreté pour ses 142 pays membres et fournit des services d'experts pour les aider à les mettre en application. C'est à travers la *Commission on Safety Standards* (CSS) qu'elle établit ces normes ainsi que tout autre document réglementaire relatif à leurs réacteurs nucléaires, au

[150] Source : AIEA.

transport et aux déchets radioactifs qu'ils produisent. Quant à l'AEN, nous avons vu qu'elle est à l'origine des Conventions de RCN. Elle est une agence spécialisée de l'OCDE. Elle travaille en étroite collaboration avec l'AIEA ainsi qu'avec la CE. Elle compte actuellement vingt-huit pays membres d'Europe, d'Amérique du Nord et de la région Asie-Pacifique. Ses membres représentent à eux seuls 85% de la puissance nucléaire installée dans le monde.

Une étape importante dans le contrôle international de la sûreté nucléaire a été franchie en 1994 avec l'adoption de la Convention sur la sûreté nucléaire de l'AIEA, premier instrument juridique international jamais élaboré spécifiquement sur la sûreté des installations nucléaires. De nature essentiellement incitative, cette convention n'est pas destinée à vérifier le respect des obligations par le biais de contrôles et de sanctions. Elle est fondée sur une détermination commune à définir, appuyer et atteindre un haut niveau de sûreté grâce à des réunions régulières des parties. En vertu de cette Convention, ces dernières sont tenues aux cinq obligations suivantes : (1) établir un cadre législatif et réglementaire définissant et délimitant les responsabilités du gouvernement, de l'organisme réglementaire et des exploitants, (2) prendre les mesures nécessaires en vue d'une formation théorique et pratique appropriée du personnel, (3) exiger la surveillance continue de la sûreté des installations (conception, choix des sites et construction), (4) garantir la sûreté d'exploitation et d'entretien des installations et (5) prendre les mesures nécessaires en vue d'une gestion et d'un stockage sûrs des déchets radioactifs, au cas où ces déchets entreraient dans le champ d'application de la Convention (Jankowitsch-Prevor, 1994). Les parties sont également obligées d'élaborer des rapports sur la mise en oeuvre de leurs engagements et de soumettre ces documents pour des "examens par des confrères" à effectuer par tous les pays, dans le cadre des réunions des parties contractantes, tenues tous les trois ans. La prochaine aura lieu en 2008. A ce jour, la Convention sur la sûreté nucléaire de l'AIEA compte soixante-deux membres dont la communauté Euratom.

En tant que membre de l'AIEA et de l'AEN, la France soumet ses exploitants nucléaires à la réglementation internationale. Aujourd'hui, c'est l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) qui fait, en France, l'intermédiaire entre les organisations internationales et les exploitants nationaux. Créée en 1973, elle a le statut d'Autorité Administrative Indépendante depuis le vote de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à sécurité en matière nucléaire citée dans le chapitre 1. Elle a trois missions : réglementer les activités nucléaires civiles en France, contrôler la sûreté nucléaire et la radioprotection au nom de l'Etat, et informer les citoyens.

En matière de réglementation des activités nucléaires civiles en France, l'ASN a le pouvoir de décider de la mise en service et de la mise en arrêt d'une centrale, de son démantèlement, de sa mise sous surveillance ou de la fin de son autorisation. Elle autorise la création des Installations Nucléaires de Base (INB), mentionnées dans l'introduction générale, par un Décret d'Autorisation de Création[151]. Ce décret fixe les délais dans lesquels les installations individuelles sont mises en exploitation ou en service. Comme dans tous les pays contractants aux Conventions de RCN, ces autorisations ne précisent pas la durée d'exploitation mais ont une durée de dix ans renouvelables sous réserve que les examens de sûreté soient satisfaisants. A l'origine, les normes de sûreté étaient établies sur les connaissances scientifiques de base dont disposaient les experts sur le risque nucléaire. Avec le temps, la réglementation s'est adaptée au rythme de l'évolution technique des réacteurs et de l'accumulation d'expérience sur les incidents et (à faible mesure) les accidents. Pour parer notamment aux effets stochastiques des rayonnements ionisants, les normes sont devenues de plus en plus strictes avec le temps (Rust et Rothwell, 1995). Elles sont, par ailleurs, beaucoup plus sévères dans l'industrie nucléaire que dans d'autres secteurs pourtant risqués. Cette sévérité de la norme de sûreté s'appuie sur le concept ALARA (*"As low As Reasonably Achievable"*), soit "Aussi bas que raisonnablement possible"[152]. A cet égard, comme le montrent Godard et Lochard (2005), cette réglementation suit une démarche conforme au principe de précaution, selon lequel *"l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles (…) à un coût économiquement acceptable"* (loi Barnier 95-101). Cette sévérité des normes participe ainsi à une meilleure acceptabilité du risque nucléaire.

La mission de contrôle de l'ASN a pour objectif de protéger les travailleurs, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire. Depuis 2002, elle contrôle également toutes les installations hospitalières et de recherche où sont utilisés les rayonnements ionisants. Le contrôle exercé par l'ASN repose sur le principe de la

[151] Sont considérés comme des INB : les réacteurs nucléaires, les accélérateurs de particules, les usines de séparation, de fabrication ou de transformation de substances radioactives, notamment les usines de fabrication de combustibles nucléaires, de traitement de combustibles irradiés ou de conditionnement de déchets radioactifs, les installations destinées au stockage, au dépôt ou à l'utilisation de substances radioactives, y compris les déchets.

[152] Dans un pays comme la France, la population est exposée chaque année à une dose équivalente par habitant d'environ 3,7 millisievert (mSv) : 2,5 mSv de radioactivité naturelle incompressible, 1,1 mSv d'origine médicale et 0,06 mSv de radioactivité liée aux autres activités humaines dont le nucléaire. Les réglementations et mesures de protection ont pour objet de limiter la troisième cause d'exposition à 1mSv sur les installations nucléaires, ce qui est inférieur à la radioactivité naturelle.

responsabilité première de l'exploitant. Selon ce principe, la responsabilité des activités à risques incombe en première ligne à ceux qui les entreprennent ou les exercent. Les exploitants prennent donc en charge eux-mêmes le coût de la sûreté qu'ils répercutent ensuite sur leur prix. En outre, l'ensemble des activités nucléaires soumises au contrôle de l'ASN doivent être exercées dans le respect de principes fondamentaux inscrits dans le code de l'environnement (principe du pollueur-payeur) et le code de la santé publique (principes d'optimisation, de justification et limitation[153]). En France, les installations nucléaires font l'objet de plus de mille inspections de sûreté par an. En 2006, l'ASN a mené 740 inspections dans les centrales nucléaires, dont 198 à caractère inopiné et 568 dans les installations médicales et de recherche. En cas de risques graves et imminents, l'ASN peut suspendre, si nécessaire, à titre provisoire et conservatoire, le fonctionnement d'une installation nucléaire. Cette suspension peut aboutir à l'arrêt de la centrale. En cas de non respect des normes de sûreté, les sanctions sont alors de nature pénale. C'est l'article 48 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 précitée qui les définit. Ces sanctions vont, pour la plus sévère, de trois ans d'emprisonnement et 150 000€ d'amende (article 48, I) à 7 500€ d'amende, pour la plus légère (article 48, VI)[154].

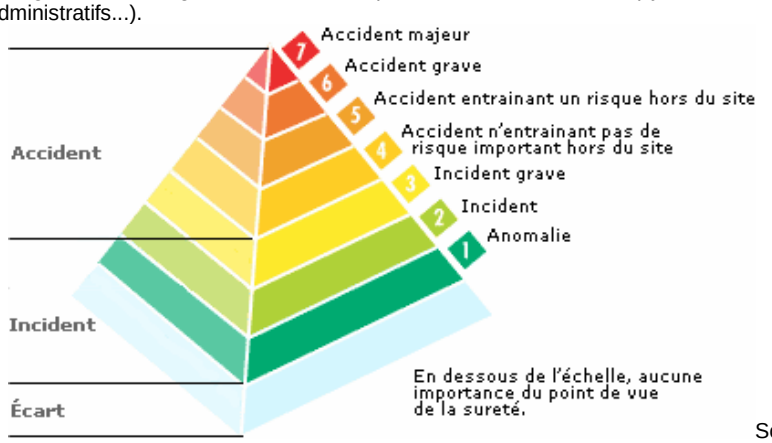
Enfin, dans un souci croissant de transparence, l'ASN communique aux citoyens ses actions et les avancées en matière de sûreté nucléaire. Elle publie, par exemple, en ligne les comptes rendus de ses inspections. En cas d'incident ou d'accident sur une installation, elle est également chargée d'informer le public sur l'état de sûreté de l'installation en cause et sur les éventuels rejets dans l'environnement et leurs risques pour la santé des personnes et pour l'environnement. Pour cela, elle s'appuie sur l'échelle INES de l'AIEA (encadré 4).

[153] Le principe d'optimisation reprend le principe ALARA cité plus haut. Selon le principe de justification, *"une activité nucléaire ne peut être entreprise que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes"*. Enfin, le principe de limitation prévoit que *"l'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une activité nucléaire ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale"*. Source : ASN.

[154] Le texte de cette loi est disponible en ligne sur le site de Légifrance (au 01.01.07 : www.legifrance.gouv.fr).

Encadré 4. L'échelle INES

A l'instar de ce qui existe dans le domaine des phénomènes naturels comme les séismes, le vent ou les avalanches, la France a mis en place, dès 1987, une échelle de gravité des événements nucléaires, dont l'AIEA s'est largement inspirée pour concevoir l'échelle INES (International Nuclear Event Scale). Cette échelle, utilisée au plan international depuis 1991, s'appuie à la fois sur des critères objectifs et des critères subjectifs. Appliquée par une soixantaine de pays, elle est destinée à faciliter la perception par les médias et le public de l'importance des incidents et des accidents nucléaires. Elle ne constitue pas un outil d'évaluation et ne peut, en aucun cas, servir de base à des comparaisons internationales. Cette échelle a été mise en application au plan international en 1991 (en 1994 en France) et est destinée à couvrir les événements se produisant dans toutes les installations nucléaires civiles et pendant le transport des matières nucléaires. Les huit niveaux (0 à 7) d'INES suivants se différencient par la gravité des conséquences à l'intérieur de la centrale, des conséquences à l'extérieur de la centrale et de la dégradation des lignes de défense en profondeur de l'installation (systèmes de sûreté, procédures, contrôles techniques ou administratifs...).



Source : ASN

En France, chaque année, plusieurs centaines d'incidents de niveau 0 sont répertoriés. Ils concernent des écarts par rapport au fonctionnement normal des installations ou au déroulement normal des transports qui n'ont aucune importance en termes de sûreté. Une centaine d'événements environ sont classés chaque année au niveau 1. Il s'agit d'anomalie, de sortie du régime de fonctionnement autorisé des installations ou du déroulement normal des transports en raison de défaillance de matériel, d'erreur humaine ou d'insuffisance dans l'application des procédures. Les incidents de niveau 2 et 3 sont beaucoup plus rares.

L'ASN sera remplacée prochainement par l'HASN (Haute autorité de sûreté nucléaire), instituée par la loi du 13 juin 2006 (article 2bis), à la demande du Président de la République. Ce changement permettra de répondre à une double attente. Tout d'abord, le gouvernement a longtemps été juge et partie en matière d'énergie nucléaire, à la fois initiateur, promoteur, financeur, exploitant, actionnaire et contrôleur. Les standards internationaux amènent à rechercher une répartition des rôles plus claire, sans mélange des genres entre les acteurs de la filière nucléaire. Ensuite, dans le but de renforcer aussi le soutien de l'opinion publique aux grands projets nucléaires français (EPR et ITER), l'HASN sera une autorité administrative indépendante qui se voudra affranchie des tutelles politiques.

Les larges pouvoirs d'appréciation de l'ASN impliquent, d'une part, qu'elle soit elle-même contrôlée, et, d'autre part, qu'elle recoure au maximum d'avis compétents émanant

d'organismes consultatifs et d'appuis techniques. La réglementation de la sûreté nucléaire en France, comme dans les autres pays nucléarisés, fait donc l'objet d'une organisation bureaucratique très structurée et très hiérarchisée où chaque entité a un rôle bien spécifique. Ainsi, comme le montre la Figure 11 ci-après, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection relève en France essentiellement de trois acteurs : le Parlement, le Gouvernement et l'ASN.

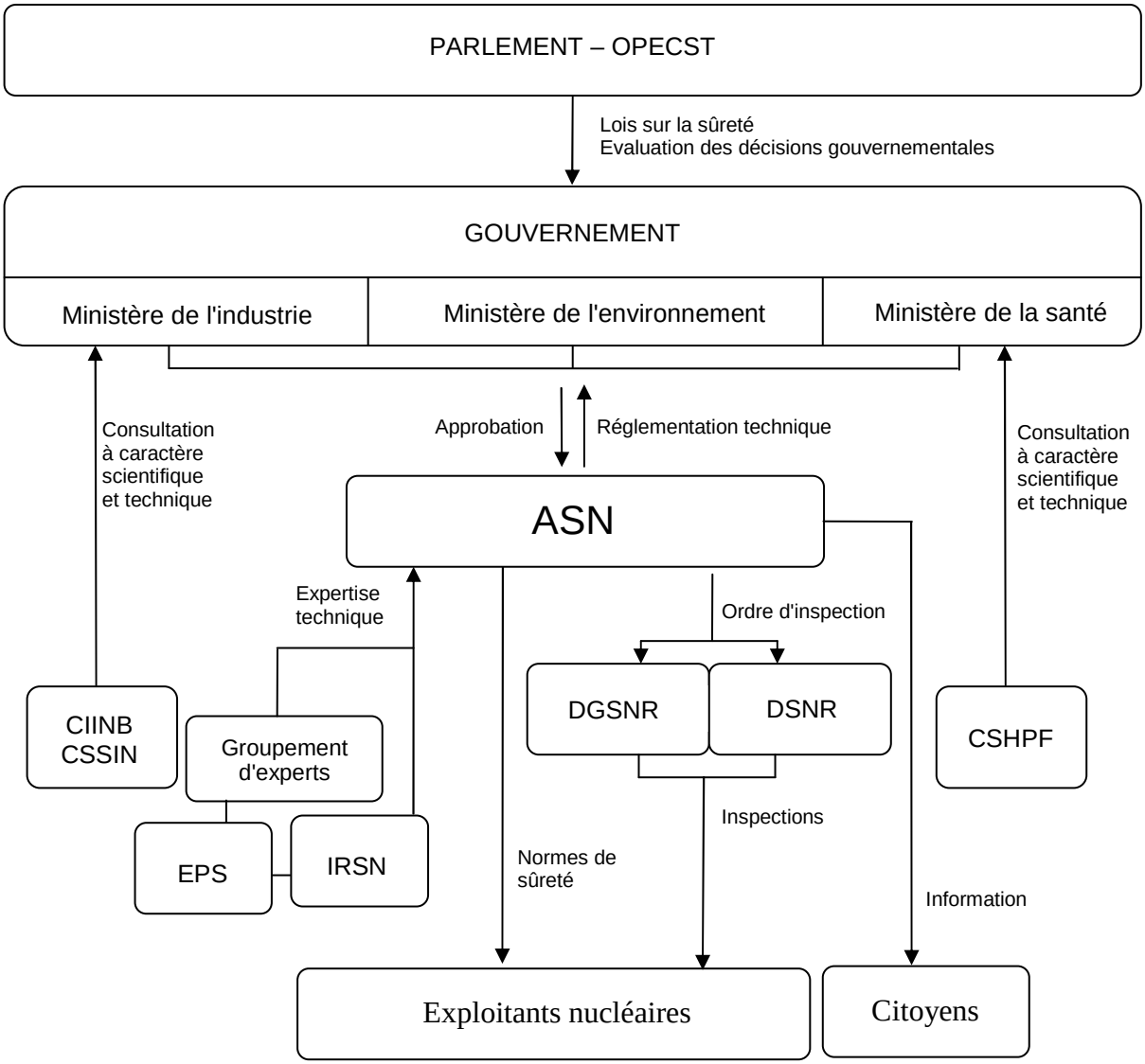


Figure 11. Organisation de la réglementation en matière de sûreté nucléaire en France

Le processus réglementaire est le suivant. Les ministères de l'industrie, de l'environnement et de la santé interagissent par l'intermédiaire de la CIINB (Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base), du CSSIN (Conseil Supérieur de la Sûreté des Informations Nucléaires) et du CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) qui sont des instances consultatives spécialisées. Ces instances émettent des

recommandations qui orientent les ministères dans leurs décisions réglementaires. Ces décisions sont prises en conformité avec les lois nucléaires en vigueur, votées par le Parlement. En l'occurrence, en France ces lois sont la loi n°2006-686 du 13 juin 2006 précitée et la loi n°2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Le parlement a aussi en charge d'évaluer les décisions du gouvernement et des autres acteurs de la sûreté nucléaire à travers l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques). Cet office publie régulièrement des rapports sur ces évaluations parlementaires.

Au sein de cette organisation hiérarchique, l'ASN a un rôle central. Elle prépare les projets de textes pour le compte du Gouvernement et précise la réglementation par des décisions techniques. Les inspecteurs de la sûreté nucléaire et ceux de la radioprotection qui en dépendent appartiennent à la DGSNR (Direction générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection) et aux DSNR (Divisions de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection[155]). Sur le plan technique, l'ASN s'appuie sur l'expertise que lui fournissent l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) et des groupes permanents d'experts. Les EPS (Etudes Probabilistes de Sûreté), présentées dans le chapitre 1, qui visent à évaluer les probabilités d'accident, complètent aussi les appréciations techniques de ces agences. L'utilité est double : les EPS orientent la réglementation de sûreté et l'évolution de la sûreté des centrales modifient la réglementation et les EPS[156]. Enfin, une fois les décisions concernant les normes réglementaires approuvées, elles sont transmises pour application aux différents exploitants nucléaires français (EDF, AREVA NC, CEA, ANDRA, etc.).

Cette réglementation stricte a donc pour objectif de dissuader les exploitants nucléaires de négliger la sûreté, ou pour reprendre l'expression de Heyes (2002), *"to avoid the operators to cut corners in safety"*[157] (p.30). Elle est donc un instrument complémentaire à la RC des exploitants pour prévenir les accidents.

[155] Les DSNR sont placées chacune sous l'autorité de la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) correspondante.
[156] S'il était besoin de le préciser, notons que les probabilités d'accident (fusion du cœur du réacteur et probabilité conditionnelle de rejets), évaluées par les EPS, prennent en compte la réglementation de sûreté.
[157] *"Pour éviter que les exploitants n'économisent sur la sûreté"*.

3.2.2.2. La complémentarité entre réglementation et RC

Bien que, dans la littérature, la réglementation et les règles de RC soient traditionnellement considérées comme des instruments substituables, leur combinaison est fréquemment constatée dans la réalité. Cette combinaison entre réglementation de sûreté et RC est très souvent nécessaire pour garantir l'efficacité de la prévention des accidents. Le premier, Shavell (1984a, 1984b) montre, en effet, que les règles de RC se suffisent rarement à elles-mêmes. Nous avons vu que leur efficacité peut être limitée par différents facteurs, au premier rang desquels l'existence d'un plafond financier. Shavell (1984b) parle alors de "*dilution of incentives*" ("dissolution des incitations") (p.271). Aussi, une combinaison de la RC avec la réglementation est-elle parfois socialement souhaitable. En particulier, Shavell (1984a) préconise cette combinaison pour les risques de dimension catastrophique, imprévisibles et/ou qui relèvent de la santé publique. Il cite par ailleurs lui-même l'exemple du risque nucléaire (1984a, p.373 et 1984b, p.271). A la suite de Shavell, Kolstad *et alii* (1990) ont également montré que les règles de RC seules peuvent ne pas être efficaces, en particulier lorsqu'il existe une incertitude sur le risque et donc sur le niveau de précaution requis.

Les règles de RC n'intervenant qu'*ex post*, la réglementation permet donc de les compléter *ex ante* dans l'offre d'incitations à la précaution. En particulier, lorsque la RC fait l'objet d'un plafond financier, son effet désincitatif est amoindri par la réglementation. Selon les termes de Heyes et Liston-Heyes, *"the extent of the effect may be small in this context because of the stringency of the regulatory environment"*[158] (2000b, p.98).

Toutefois, dans l'autre extrême, il n'est pas souhaitable que la prévention des accidents repose exclusivement sur la réglementation. En effet, la réglementation présente aussi des limites. On peut en avancer quatre.

D'abord, l'efficacité de la réglementation dépend de la qualité de sa mise en application effective ; qualité qui peut s'avérer défectueuse. Nous avons vu, à cet égard, que dans l'industrie nucléaire des sanctions pénales étaient prévues pour garantir le respect des normes de sûreté. Néanmoins, la mise en application de la réglementation dépend aussi de la qualité et de l'impartialité des agences de contrôle.

La réglementation est souvent peu dynamique, rapidement obsolète et n'évolue pas toujours au même rythme que le progrès technologique. Le processus décisionnel

[158] *"L'étendue de l'effet peut être faible dans ce contexte du fait de la rigueur de l'environnement réglementaire".*

réglementaire étant hiérarchisé et bureaucratique, il peut être victime de lenteur et de rigidité. Cette tendance à la rigidité peut s'accompagner de coûts administratifs lourds ; plus lourds que pour la mise en œuvre des règles de RC. Ces coûts réglementaires sont d'autant plus élevés qu'ils sont supportés *ex ante*, qu'un accident survienne ou non. Au contraire, les coûts de mise en œuvre de la RC (recours en justice, procédures d'indemnisation, etc.) ne sont subis qu'*ex post* (Shavell, 1984a).

De plus, la réglementation peut se heurter à l'imperfection de l'information du régulateur. Cette imperfection vient du fait que l'auteur du risque (en particulier pour les activités dangereuses) est souvent mieux informé sur le risque que le régulateur. Par conséquent, cette asymétrie informationnelle peut aboutir au sous-contrôle de certaines activités risquées par le régulateur et au sur-contrôle d'autres (Kolstad *et alii*, 1990). Dans ce cas, si l'auteur du risque est, en complément de la réglementation, pleinement responsable des dommages que son risque peut causer, il aura les incitations supplémentaires nécessaires, à la fois pour investir en recherche et développement, et pour suivre attentivement les progrès technologiques relatifs à son activité. Bien entendu, une hypothèse importante, à cet égard, est que la solvabilité de l'auteur du risque puisse être garantie. Si ce n'est pas le cas, la RC mènera à nouveau à une sous-dissuasion (Shavell, 1986b). Ainsi, en plus d'exposer l'auteur du risque à sa pleine RC, des garanties financières doivent aussi être exigées. En l'occurrence, nous avons vu que dans l'industrie nucléaire, le problème de l'insolvabilité de l'exploitant était éliminé par son obligation de s'assurer.

Enfin, l'influence de groupes d'intérêt sur la réglementation peut mener à la fixation de normes réglementaires inadéquates et donc inefficaces (Faure et Vanden Bergh, 1990 ; Faure, 2007b). Ce risque de *lobbying* réglementaire concerne particulièrement les grands groupes industriels. C'est par ailleurs pour réduire ce risque que la Haute autorité de sûreté nucléaire (HASN) a été créée en France en 2006.

Pour conclure, bien qu'aujourd'hui, le rôle des autorités de sûreté nucléaire soit crucial et qu'elles occupent une place primordiale dans le contrôle des centrales, l'exploitant nucléaire a d'autant plus d'incitations à la prévention des accidents si la réglementation est soutenue et complétée par une règle de RC. Néanmoins, pour remplir efficacement leurs rôles complémentaires, la réglementation et la règle de RC doivent remplir deux conditions. Premièrement, en tant qu'instruments interdépendants, la réglementation et la règle de RC doivent être mises en place simultanément et de manière cohérente entre elles (Burrows, 1999). Deuxièmement, il n'est pas souhaitable que la RC de l'exploitant soit limitée, comme

c'est pourtant le cas aujourd'hui. En effet, en déchargeant l'exploitant d'une part de ses coûts de couverture du risque (sous forme de subvention implicite), la limite de RC réduit l'effet préventif.

L'analyse des conséquences économiques de la subvention de couverture dont bénéficient implicitement les exploitants nucléaires a clairement montré l'inefficacité de la limite de RC mise en place par les Conventions de Paris et de Bruxelles. Bien que la subvention implicite de RCN ait déjà été étudiée dans la littérature pour l'Amérique du Nord, jusqu'à présent très peu d'attention avait été portée sur le cas européen (et français) et sur ses conséquences économiques. A la lumière des données des marchés de l'énergie et de la littérature sur la réglementation et l'analyse économique du droit, nous avons entrepris cet exercice, dans cette section. Une des conséquences économiques classiques d'une subvention, implicite ou non, est évidemment la distorsion qu'elle entraîne sur le fonctionnement normal du marché. L'effet de la subvention sur la compétitivité de l'énergie nucléaire a donc été examiné, en premier lieu. Nous avons vu, à ce propos, que l'énergie nucléaire ne perdrait pas sa position avantageuse face à ses alternatives en l'absence de subvention implicite. Bien que fortement dépendant des hypothèses de notre modèle, les résultats ont ainsi révélé l'impact négligeable de la subvention sur le prix de revient du kWh nucléaire et plus généralement sur l'attrait de l'énergie nucléaire. En second lieu, l'effet désincitatif de la subvention implicite et la nécessité de renforcer la prévention des accidents ont été mis en avant. De là, deux sources d'incitations supplémentaires ont été analysées : l'effet de réputation et la réglementation en termes de sûreté nucléaire. Dans quelle mesure la règle de RC peut, en plus de ces deux sources supplémentaires, continuer d'avoir un effet incitatif supérieur demeure une voie de recherche ouverte. Nous rappelons que nos conclusions concernent la France, mais également tous les pays de l'OCDE membres des Conventions de Paris et de Bruxelles. En revanche, même si les Etats-Unis et le Canada présentent également une subvention implicite de couverture, nos conclusions sur les conséquences de la subvention ne s'appliquent pas nécessairement à ces pays qui ne relèvent pas du même régime de RCN.

4. Conclusion

Si les autorités nucléaires américaines reconnaissent clairement que le plafond de RCN constitue une subvention implicite de couverture au bénéfice de l'exploitant, l'évaluation du montant de cette subvention est très rare dans la littérature. C'est particulièrement le cas des pays européens membres des Conventions de Paris et de Bruxelles pour lesquels aucune évaluation de ce type n'a jamais été entreprise.

Ainsi, ce chapitre avait pour premier objectif d'effectuer cet exercice pour la France, choisi comme exemple représentatif de ces pays. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les travaux antérieurs de Dubin et Rothwell (1990) et de Heyes et Liston-Heyes (1998) pour les Etats-Unis et de Heyes et Liston-Heyes (2000b) pour le Canada. Leur modèle a été amélioré et corrigé de certaines approximations méthodologiques. Ont été également intégrés au calcul les derniers amendements législatifs apportés par les Protocoles de 2004 afin d'en estimer l'impact positif sur le montant de subvention implicite. Les résultats sont évidemment très sensibles aux hypothèses retenues pour notre modèle. Les incertitudes relatives aux probabilités et au coût d'un accident nucléaire majeur nous ont incité à étudier plusieurs scénarios afin de proposer une analyse aussi réaliste que possible. Le choix de la distribution de probabilités log-logistique est également discutable mais, étant donné les caractéristiques du problème, elle nous semble la mieux appropriée. Enfin, le calcul de la subvention implicite est fondé sur une extrapolation de la prime d'assurance actuelle. Il a été ainsi supposé que cette dernière suivait une certaine tendance lorsque les montants de dommages couverts augmentent. Cette tendance peut bien entendu être différente selon les accords passés dans le contrat entre l'exploitant et son assureur et varier avec la structure du marché de l'assurance. Les montants de subvention sont également très dépendants du montant de la prime actuelle. Notre évaluation consistant à révéler de l'information "cachée" dans cette prime, elle suppose alors qu'elle est déterminée à son "juste" niveau. Le chapitre 3 a précisément comme objectif d'analyser le marché de l'assurance nucléaire actuel et le niveau de cette prime.

Le second objectif de ce chapitre était d'analyser les conséquences économiques de la subvention implicite de couverture. A l'aide des outils de l'analyse économique du droit et de la réglementation, deux éléments ont été étudiés : l'impact de la subvention sur la compétitivité de l'énergie nucléaire et sur la prévention des accidents. Nous avons ainsi montré que la subvention implicite avait peu d'effet sur la compétitivité de l'énergie nucléaire vis-à-vis de ses alternatives. A cet égard, nous avons conscience que la comparaison des coûts de production des énergies, effectuée dans la section 3, aurait pu être encore plus fine si d'autres coûts

externes avaient été inclus dans leur prix de revient. Auraient pû être aussi compris dans l'analyse par exemple le risque d'accident sur les barrages hydrauliques ou les pollutions auditives et visuelles de l'énergie éolienne. Concernant l'énergie nucléaire, bien que son prix de revient comprenne le coût de retraitement et de stockage des déchets radioactifs, certains déchets, dits "de haute activité à vie longue" (tels que le plutonium) ne sont pour l'instant qu'entreposés provisoirement, dans l'attente d'une décision gouvernementale de leur devenir[159]. De plus, ces déchets requièrent une gestion de très long terme et impliquent donc un coût sur plusieurs générations. De ce fait, le coût de gestion de ces déchets encore entreposés et leur coût inter-générationnel pourraient alors aussi être considérés comme des subventions implicites à intégrer dans le prix de revient du kWh nucléaire[160]. De la même manière, certaines études considèrent les coûts de recherche et développement nucléaire comme un coût externe car ils ne sont pas supportés par le producteur (du moins en France) (DGEMP, 2003). Enfin, l'analyse a aussi montré que la prévention des accidents devait être renforcée. A cet égard, nous avons analysé deux sources d'incitations supplémentaires : l'effet de réputation et la réglementation de sûreté.

Le chapitre 2 conclut ainsi sur le fait que, sans perdre son avantage compétitif, l'exploitant nucléaire pourrait couvrir l'intégralité de ses coûts du risque sans pénaliser outre mesure le consommateur. La règle de l'internalisation coasienne serait respectée, les incitations à la prévention rétablies, et les victimes des accidents nucléaires assurées d'être indemnisées.

[159] C'est la loi Bataille du 30 décembre 1991, mentionnée dans l'introduction générale, qui est à l'origine de cette discussion. Elle prévoyait un programme de recherche sur quinze ans et un nouveau projet de loi pour 2006. C'est la loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs qui a tiré le bilan de ces recherches et a proposé des orientations pour la gestion de ces déchets de haute activité et à vie longue.

[160] Dans le cadre de la loi n°2006-739, citée dans la note précédente, a notamment été proposée l'idée de mettre en place une taxe à la charge des électriciens nucléaires pour leur production de déchets radioactifs. Cette idée avait plus tôt été émise dans la littérature, par Aronsson *et alii* (1998).

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

La première partie de ce travail était consacrée à l'analyse de la dimension *ex ante* de la gestion du risque nucléaire en Europe, à travers l'étude du régime de RCN mis en place par l'AEN et l'OCDE. L'objectif était d'en examiner les implications selon les deux critères suivants : l'internalisation des coûts du risque nucléaire par les exploitants et la prévention des accidents. Ces deux critères définissent l'efficacité d'un régime de responsabilité civile. En effet, nous avons vu que l'internalisation des coûts du risque par son auteur fournissait à celui-ci les incitations nécessaires à la précaution et lui faisaient supporter la charge de la couverture du risque. L'internalisation intégrale des coûts du risque est donc un impératif vers lequel toute régime de RC doit tendre pour éviter que la société n'ait à supporter un risque qu'elle n'influence pas. Or, cette première partie a montré précisément que le régime de RCN AEN/OCDE n'est pas efficace, à l'égard de cet impératif et de sa dimension incitative.

Pour démontrer cette inefficacité, le chapitre 1 avait pour but d'analyser les principes fondamentaux de RC du régime AEN/OCDE, au regard de leur capacité à fournir les incitations nécessaires à l'internalisation des coûts du risque par l'exploitant. La priorité des Conventions internationales était explicitement la protection des victimes des accidents nucléaires. De ce fait, les principes de ces Conventions dérogent au droit commun. Le chapitre 1 a ainsi montré que le régime AEN/OCDE a, en vertu de sa priorité, toujours privilégié une logique *ex post*. Cette logique est articulée autour de deux axes : une RC des exploitants nucléaires objective et une prise en charge importante de l'indemnisation par l'Etat. Or, derrière la complexité du texte des Conventions, leur analyse approfondie révèle d'importantes inefficacités qui vont à l'encontre à la fois de l'internalisation coasienne et de l'objectif initial du régime, la protection des victimes. Bien que le régime ait été plusieurs fois amendé pour pallier ses inefficacités, les avancées restent insuffisantes. A cet égard, c'est tout particulièrement les principes de limitation financière et de canalisation de la RC des exploitants qui sont contestables. Le chapitre 1 a ainsi conclu que ce régime de RCN était favorable à l'industrie nucléaire et que pour garantir l'efficacité de la gestion du risque, dans sa dimension *ex ante*, il devait être repensé dans une optique davantage incitative.

De là, le chapitre 2 a fait écho à cette première conclusion en montrant que la limite de RC n'était pas seulement inefficace dans sa capacité à offrir les incitations à la précaution et à maximiser l'indemnisation mais qu'elle procurait également aux exploitants une subvention implicite. Ce chapitre s'est ainsi focalisé sur le plafond financier de la RC des exploitants. A

cet égard, il a montré que le régime AEN/OCDE les protège juridiquement d'une part de leur responsabilité mais aussi économiquement d'une part de leur coût de couverture du risque. Cet allègement de coût constitue une subvention implicite en leur faveur. Cette subvention a été évaluée pour la France, à nouveau comme exemple représentatif des pays membres des Conventions AEN/OCDE. Bien que le modèle d'évaluation soit dépendant de ses hypothèses, les résultats trouvés sont instructifs. En particulier, l'analyse des conséquences économiques de la subvention, notamment en termes de compétitivité de l'énergie nucléaire, a montré que la couverture intégrale des dommages par l'exploitant nucléaire serait financièrement soutenable, en dépit d'une hausse de ses coûts de couverture. Cette conclusion a donc renforcé celle du chapitre 1 et a permis de se prononcer en faveur de la suppression du plafond de RCN pour garantir à la fois l'internalisation du risque, la prévention des accidents et l'indemnisation des victimes.

La démonstration entreprise dans cette première partie fait donc fortement douter de la capacité du régime actuel de RCN à garantir l'efficacité de la gestion du risque nucléaire, dans sa dimension préventive et incitative. De là, la question de sa dimension *ex post* se pose alors. Comme l'introduction générale l'a souligné, un régime de RC doit s'accompagner d'une couverture du risque efficace pour parer à l'eventualité de la réalisation du risque. Cette exigence consiste alors à choisir le mécanisme assuranciel qui permet de maximiser l'indemnisation des victimes tout en minimisant les couts de couverture pour les exploitants. Au regard du régime dérogatoire AEN/OCDE et des carastéristiques spécifiques du risque nucléaire, quel est alors le mécanisme assuranciel mis en place pour couvrir ce risque ? Ce mécanisme garantit-il une couverture du risque efficace ? Dans quelle mesure les insuffisances constatées au niveau incitatif se répercutent-elles dans la dimension *ex post* de la gestion du risque ? La deuxième partie a pour objectif de répondre à ces questions.

DEUXIEME PARTIE

L'ORGANISATION DE LA COUVERTURE DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE

De l'analyse menée dans la première partie, il ressort que le régime actuel de RCN en vigueur en Europe est inefficace au regard de la dimension *ex ante* de la gestion du risque nucléaire. Il n'induit qu'une internalisation partielle des coûts du risque par les exploitants et présente un caractère insuffisamment incitatif. De là, il est même inefficace par rapport à l'objectif qu'il s'est pourtant fixé comme priorité : l'indemnisation des victimes. Or, la maximisation de l'indemnisation des victimes est une condition indispensable à l'efficacité de la dimension *ex post* de la gestion du risque. En effet, si tout régime de RC a, en principe, pour but de fournir les incitations nécessaires à la prévention du risque, la possibilité d'un accident n'est pas pour autant éliminée. Le risque zéro n'existe pas. Il faut donc assortir le régime de RC avec un montage assuranciel capable de garantir une couverture du risque efficace. L'efficacité de la couverture du risque nucléaire requiert alors deux exigences : d'une part, une capacité financière suffisamment élevée pour correspondre à l'ampleur des dommages qu'un accident nucléaire peut causer et d'autre part, un coût de couverture le plus bas possible pour les exploitants. Maximiser la couverture tout en en minimisant la charge est une conciliation complexe.

Comme nous l'avons vu dans la première partie, les exploitants nucléaires ont l'obligation, en vertu de la Convention de Paris, de couvrir leur RC en cas d'accident sur leurs installations. Le texte ne précise ni la forme ni la nature du mécanisme de couverture auxquels ils peuvent avoir recours. Il en indique simplement le principe, on l'a vu, rappelé dans l'article 10 de la Convention de Paris de la manière suivante : *"Tout exploitant devra être tenu, pour faire face à la responsabilité prévue par la présente Convention, d'avoir et de maintenir, à concurrence du montant fixé conformément à l'article 7, une assurance ou une autre garantie financière correspondant au type et aux conditions déterminés par l'autorité publique compétente"*. C'est donc aux Etats de décider quels mécanismes assuranciels sont le mieux capables de couvrir le risque, étant donné ses caractéristiques spécifiques.

Cette deuxième partie a précisément pour objectif d'analyser la manière dont le risque nucléaire est couvert sur le marché de l'assurance en Europe. A cet égard, la première partie a montré que le régime AEN/OCDE était, entre autres, justifié par l'argument selon lequel le risque nucléaire était inassurable. Cet argument a fortement influencé le régime AEN/CODE, on l'a vu, par la mise en place du plafond de RC des exploitants et par un financement public important de la réparation des dommages. Mais cet argument a également conditionné la dimension *ex post* de la gestion du risque et, en particulier, le mécanisme assuranciel mis en

œuvre pour le couvrir. Risque inassurable sur les marchés traditionnels de l'assurance, le risque nucléaire a donc fait l'objet, dès les années 1950, d'une couverture spécifique, à l'image de son régime de RC.

Dès lors, la réponse assurancielle apportée par le marché à la couverture du risque nucléaire est-elle efficace ?

Pour répondre à cette question, le chapitre 3 montre que l'offre d'assurance nucléaire, mise en place dans les années 1950, est très particulière quant à sa structure de marché et son fonctionnement. Le marché de l'assurance nucléaire se distingue, en effet, largement des marchés assuranciels traditionnels. Cette analyse s'appuie à nouveau sur le cas français, comme exemple représentatif des pays membres des Conventions AEN/OCDE. Elle montre ainsi que la couverture actuelle du risque nucléaire présente d'importantes limites, au premier rang desquelles des coûts très élevés pour les exploitants. De surcroît, au regard des derniers amendements législatifs apportés par les Protocoles de 2004, elle n'est pas appropriée pour garantir l'efficacité de la dimension *ex post* de la gestion du risque.

Face à ces inefficacités, le chapitre 4 a pour objectif de proposer une alternative à la couverture du risque nucléaire. Au-delà de la réduction des inefficacités actuelles, la nécessité de chercher une alternative trouve deux justifications supplémentaires. Premièrement, étant donné que la RC des exploitants fait l'objet d'un plafond financier, l'obligation de couverture de cette RC est donc, de fait, également limitée. Les exploitants ne couvrent alors que le montant de responsabilité pour lequel ils sont engagés par la loi. En conséquence, le défaut d'internalisation et d'indemnisation constaté dans la première partie se traduit ici par une capacité limitée de couverture du risque. Dans la perspective de maximiser les montants d'indemnisation, il est donc nécessaire d'élargir cette capacité. En second lieu, les critères d'assurabilité d'un risque se sont étendus, depuis les années 1950, et le marché assure et réassure aujourd'hui beaucoup plus facilement et beaucoup plus largement. En s'appuyant sur l'exemple de la couverture d'autres risques catastrophiques, le chapitre 4 montre ainsi que des alternatives à l'assurance traditionnelle sont désormais disponibles, élargissant ainsi le champ des possibles du marché de l'assurance. Ces alternatives offrent un éventail d'instruments innovants duquel le chapitre 4 s'inspire pour reconsidérer la couverture du risque nucléaire. Parmi ces instruments, l'intérêt est porté tout particulièrement sur les mécanismes fondés sur des accords de partage du risque (ou *risk-sharing*). De là, l'analyse consiste alors à proposer

une alternative fondée sur un partage horizontal du risque nucléaire entre exploitants à l'échelle européenne.

CHAPITRE 3.

UNE ANALYSE ECONOMIQUE DU MARCHE DE L'ASSURANCE NUCLEAIRE

1. Introduction

L'analyse effectuée dans la première partie a montré que les inefficacités du régime de RCN étaient en majeure partie dues au plafond financier dont fait l'objet la responsabilité civile des exploitants nucléaires en cas d'accident. Ce plafond est contestable et les raisons qui nous ont poussé à nous prononcer en faveur de sa suppression ont été exposées. Le présent chapitre s'inscrit dans la continuité de cette argumentation. Il a en effet comme objectif d'analyser le marché de l'assurance nucléaire, notamment au regard de sa capacité à maximiser les montants d'indemnisation.

Pourquoi cette question est-elle pertinente? Pourquoi l'étudier à ce stade du travail ? L'analyse proposée ici est intéressante pour deux raisons. Premièrement, le chapitre 1 a examiné la question de l'assurabilité du risque nucléaire. A cet égard, il a montré que, d'un point de vue traditionnel, le risque nucléaire n'était pas assurable. Toutefois, il n'a pas fait mention de la réaction du marché de l'assurance face à cette situation. Deuxièmement, le chapitre 2 a ensuite analysé l'impact du plafond de RC en termes de subvention de couverture mais n'a pas examiné ni les coûts de cette couverture ni la manière dont elle est organisée sur le marché. L'objectif était d'évaluer la subvention implicite de couverture en considérant la prime d'assurance, et donc le marché assuranciel, comme une donnée exogène. La première partie a donc effleuré, ça et là, la question du marché de l'assurance nucléaire sans l'approfondir. Ce n'était pas son but.

Le présent chapitre vient donc satisfaire la curiosité qu'ont pu suscité les deux premiers chapitres de ce travail à l'égard de la question de l'assurance du risque nucléaire. Sa motivation a été trouvée dans la question suivante : quelles conséquences le défaut d'internalisation du risque nucléaire a-t-il en termes de couverture du risque ? Le plafond de RC et l'argument de l'inassurabilité du risque étaient défendus par les rédacteurs des Conventions AEN/OCDE au prétexte de garantir une certaine offre d'assurance. Ils ont donc

conditionné l'offre du marché de l'assurance nucléaire dès les années 1950. Quelle a alors été cette offre ? Pour quelle forme d'assurance les exploitants nucléaires ont-ils opté pour couvrir leur plafond de RC ? Cette option est-elle encore efficace aujourd'hui ?

Dans la littérature, l'analyse de ces questions est quasi-inexistante. Les seuls travaux sont anciens et sont dus à Dow (1985), Faure et Skogh (1992), Faure et Vanden Bergh (1990 ; 1995) et Trebilcock et Winter (1997). Au-delà de ces travaux, l'analyse s'appuie ici sur la littérature économique sur l'assurance (Finsinger *et alii*, 1985 ; Borch, 1990 ; Henriet et Rochet, 1991 ; Ewald et Lorenzi, 1998) et sur le droit de la concurrence (Havens et Theisen, 1986 ; Glais, 1983, 1993 ; Levie et Cousy, 1994 ; Lambert, 1998/1999 ; Furse, 2006). Elle montre que le marché de l'assurance nucléaire, mis en place il y a un demi siècle, est spécifique. De ce fait, sa dénomination même de "marché" doit être remise en cause.

Le présent chapitre est structuré de la manière suivante.

Dans un premier temps, le marché actuel de l'assurance nucléaire est analysé. Sa structure, sa forme et son organisation diffèrent des marchés de l'assurance traditionnels. Les coûts de ce marché sont alors évalués (2).

Dans un second temps, la question de la pertinence actuelle de cette forme particulière d'assurance est examinée avec, en particulier, celle de sa capacité à couvrir le futur plafond de RCN mis en place par les Protocoles de 2004 (3).

2. Marché de l'assurance et risque nucléaire : une association contre nature ?

Dans les années 1950, alors qu'un engouement politique se manifeste autour des possibilités qu'offre l'énergie nucléaire civile par rapport aux autres sources d'énergie disponibles et aux contraintes économiques de l'époque, les problèmes soulevés par le risque nucléaire ne sont pas pour autant ignorés. En premier lieu, la priorité est donnée au traitement de la question de la couverture de ce risque. A la fin des années 1950, les instruments de couverture sont très restreints et l'assurance est l'outil le plus répandu en la matière. Par conséquent, alors que les Conventions de RCN sont en cours de rédaction, les exploitants nucléaires cherchent donc naturellement une réponse sur le marché de l'assurance pour couvrir leur RC.

Cette section a pour objectif d'étudier l'offre assurancielle proposée par le marché dans les années 1950, et qui, encore aujourd'hui, régit les marchés de l'assurance nucléaire. Elle montre que, du fait de la difficulté d'assurer le risque nucléaire, la structure et la forme

de cette offre d'assurance sont très particulières. A cet égard, elle ne peut être considérée strictement comme une solution de marché (2.1). De là, l'analyse montre également que cette organisation assurancielle est inefficace du point de vue de ses coûts (2.2).

2.1. L'assurance nucléaire actuelle : une solution de marché ?

En comparaison avec l'organisation des marchés de l'assurance traditionnels (2.1.1), la réponse assurancielle apportée par le marché à la couverture du risque nucléaire est spécifique. Elle est d'une part, très concentrée (2.1.2) et d'autre part, non concurrentielle (2.1.3).

2.1.1. L'organisation du marché de l'assurance en France

Les principes fondamentaux de l'assurance ont été rappelés dans le paragraphe 3.1.3. du chapitre 1. Les caractéristiques de l'offre (transfert de risque, mutualisation et différenciation), les motivations de la demande (contrainte légale ou aversion au risque), les formes d'assurance (assurance vie et non-vie) et les critères d'assurabilité d'un risque (survenance aléatoire, identification, solvabilité, homogénéité, limitation, quantification, indépendance) ont été examinés. Dès lors, comment s'organisent les marchés traditionnels de l'assurance ? L'analyse de ces marchés concerne ici l'organisation du marché français.

Au sens économique, le marché est le lieu de rencontre de l'offre et de la demande. Au sens commercial large, le marché comprend l'environnement d'un produit ou d'une entreprise : fournisseurs, clients, banques, Etat, réglementations. Au sens commercial étroit, il est l'ensemble des consommateurs d'un produit sur un territoire géographique délimité et sur un laps de temps précis. Ces définitions s'appliquent donc aussi au marché de l'assurance.

Toutefois, le marché traditionnel de l'assurance présente des caractéristiques spécifiques. Il est en effet, en France en particulier, un marché très réglementé. L'Etat encadre ce marché par des règles strictes édictées notamment dans le Code des assurances. Ce code contient l'ensemble des lois et des règlements qui doivent être respectés par les sociétés d'assurances et qui régissent les relations assureurs/assurés. Les règles du Code concernent, par exemple, le montant du capital social de l'entreprise, sa marge de solvabilité, les produits assuranciels qu'elle est autorisée à vendre, ses contrats, etc. Toutes les entreprises du marché y sont soumises.

En France, il existe près de cinq cents sociétés d'assurance présentes sur le marché. Elles se distinguent par leur taille, leur forme juridique et la nature de leurs activités. Certaines sont généralistes tandis que d'autres opèrent uniquement sur un certain type de risques. La Figure 12 représente l'organisation du marché français de l'assurance.

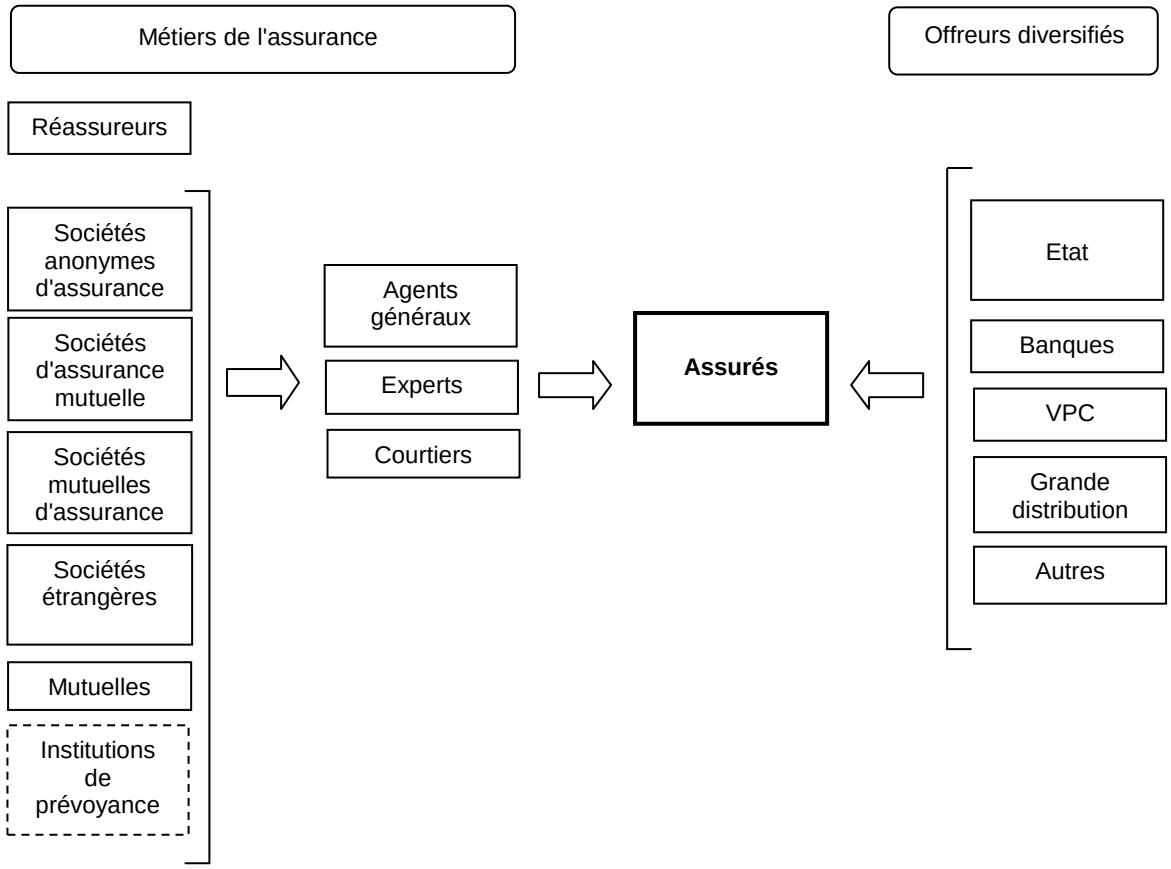


Figure 12. L'organisation du marché de l'assurance en France

Selon la classification de la FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurance), et de l'Observatoire de l'Evolution des Métiers de l'Assurance (OEMA), on trouve parmi les offreurs traditionnels trois catégories : les sociétés d'assurance, les mutuelles et les instituts de prévoyance[161].

Les plus courantes et à l'origine de la dynamique du marché, les sociétés d'assurance sont soumises au Code des Assurances et comprennent : 1) les sociétés anonymes d'assurance : elles sont soumises au droit commun des sociétés commerciales. En font partie

[161] Les mutuelles, régies par le code de la mutualité sont placées sous la tutelle du ministère de l'Emploi et de la Solidarité. Elles interviennent essentiellement dans le domaine de l'assurance santé en complément des régimes de sécurité sociale. Elles comptent dans leur rang la LMDE, la Smerep et la MGEN. Quant aux institutions de prévoyance, dont les activités sont réglementées par le Code de la sécurité sociale, elles sont des organismes paritaires à but non lucratif comme la CNAM (Caisse Nationale d'Assurance Maladie). Si techniquement, elles sont soumises aux mêmes directives européennes en assurance, ces institutions ne sont pas considérées en France comme des assureurs traditionnels, soumis à la concurrence.

les filiales de groupes étrangers installées sur le sol français et considérées à ce titre comme des sociétés de droit français. Fin 2004, on dénombrait 137 sociétés anonymes ; 2) les sociétés d'assurances mutuelles et les sociétés mutuelles d'assurance : au nombre de 102 en 2004, elles ont en commun d'être des sociétés civiles dotées non pas d'un capital mais d'un fonds d'établissement. Leurs assurés en sont sociétaires, c'est-à-dire copropriétaires, et participent à ce titre à leur gestion. On a coutume de distinguer les sociétés d'assurances mutuelles et les sociétés mutuelles d'assurance en fonction de leur mode de distribution. Commes les sociétés anonymes d'assurance, les premières peuvent utiliser des intermédiaires pour commercialiser leurs produits. Ces intermédiaires sont des agents généraux d'assurance des courtiers ou des experts[162]. Au contraire, les secondes, dénommées MSI (Mutuelles Sans Intermédiaire), sont en général spécialisées sur une catégorie socioprofessionnelle : fonctionnaires (GMF), artisans (Maaf), commerçants (Macif), personnels de l'Education nationale (Maif), etc. ; 3) les sociétés étrangères : outre leurs filiales qui sont considérées comme des entreprises de droit français, elles sont représentées par des succursales établies en France, dont la majorité ont leur maison mère dans l'UE. Les sociétés étrangères les plus présentes en France sont suisses (Winterthur, Zurich), anglaises (Aviva), italiennes (Generali) et allemandes (Allianz). Elles représentent un peu moins de 15 % du marché total et sont particulièrement actives dans le domaine des risques industriels.

Dans les années 1970, le marché de l'assurance français est principalement composé de ces offreurs. Dans les années 1980 et 1990, de nouveaux offreurs non spécialisés dans l'assurance et soucieux de se diversifier pénètrent le marché. Il s'agit pour l'essentiel de banques, de l'Etat et de sociétés commerciales (Vente par Correspondance et grande distribution). Le secteur de la réassurance se développe également. Avec l'arrivée de ces nouveaux offreurs et la banalisation des produits d'assurance, la concurrence s'est donc accrue dans le temps.

[162] Il existe environ 13 400 agences générales d'assurances en France. L'agent général exerce ses activités dans une agence soit avec un statut libéral (personne physique), soit en créant une société commerciale (personne morale). Une entreprise d'assurances le mandate pour distribuer sur un secteur géographique ou économique donné, ses produits d'assurances, contre une rémunération. Le courtier est un commerçant inscrit au Registre du commerce et des sociétés. Contrairement à l'agent général, il est propriétaire d'un portefeuille de clients pour lesquels il recherche auprès des sociétés d'assurances le produit le mieux adapté en termes de prix et de garanties. En France, il existe 2800 courtiers et sociétés de courtage. Les cabinets d'experts en assurance, quant à eux, sont au nombre de 4 400. L'expertise recouvre des activités connexes et complémentaires de l'assurance qui se traduisent par des interventions en assurance-dommages (sinistres liés l'automobile) ou en assurance de personnes, en particulier, dans le domaine de la santé (maladie, invalidité, décès). Les experts d'assurances peuvent intervenir à la demande d'un assureur ou d'un assuré, avant ou après un sinistre.

En somme, le marché de l'assurance traditionnelle français est un marché réglementé mais où coexiste une multitude d'offreurs et de demandeurs. En comparaison, quelle organisation le marché de l'assurance nucléaire présente-t-il ?

2.1.2. Le marché de l'assurance nucléaire : de l'exclusion à la concentration

Conformément à l'argument d'inassurabilité du risque nucléaire, avancé par les rédacteurs des Conventions AEN/OCDE dans les années 1960, quelle a été l'offre d'assurance proposée par le marché pour couvrir ce risque ? Etant donnée les caractéristiques spécifiques du risque nucléaire, l'offre s'est rapidement trouvée limitée. Elle s'est donc concentrée (2.1.2.1). Cette tendance à la concentration sera illustrée avec l'exemple du marché de l'assurance nucléaire français (2.1.2.2).

2.1.2.1. Une offre assurancielle très concentrée

Devant la menace que les pertes dues à un accident nucléaire peuvent générer sur la santé financière des assureurs privés, la réaction de ces derniers a été d'exclure très rapidement le risque nucléaire de leurs polices d'assurance classiques. Ce point a brièvement été mentionné dans le chapitre 1 lorsque nous avons montré que la réticence des assureurs à couvrir le risque nucléaire avait poussé les rédacteurs des Conventions AEN/OCDE à plafonner la RC des exploitants. Cette position spécifique des assureurs était motivée par le fait qu'aucun d'entre eux pris isolément ne disposait des moyens nécessaires à une bonne maîtrise du risque et, par conséquent, au contrôle précis de ses engagements financiers. Le risque nucléaire présentait des caractéristiques hors normes (vis-à-vis des critères d'assurabilité) que le marché traditionnel de l'assurance ne pouvait assumer. C'est ce qui le rendait, comme nous l'avons vu plus haut, inassurable.

Cette exclusion massive du risque de la part des assureurs privés a ensuite été soutenue par diverses clauses formelles d'exclusion au niveau international, intégrées dans les contrats d'assurance et de réassurance. La plus importante de ces clauses est la clause des risques nucléaires NMA (du nom de la *Non-Marine Association* de l'assureur londonien Lloyd's). Cette clause, intitulée "*Nuclear Energy Risks Exclusion Clause (Reinsurance)"*, date de 1975 et a été modifiée, dans sa formulation actuelle, en 1994. Elle est encore en vigueur aujourd'hui et est pratiquée partout en Europe dans les contrats d'assurance. Elle se rapporte tant aux polices d'assurance-dommages et d'assurance-RC qu'aux traités de réassurance. Elle porte sur les dommages susceptibles d'affecter les centrales (et autres installations) nucléaires ainsi que

sur les poursuites en responsabilité résultant de l'exploitation de telles installations ou de l'utilisation, du transport ou du stockage de matières nucléaires, y compris les déchets. Les Etats-Unis et le Canada ne pratiquent pas la clause NMA mais une clause dont les termes sont néanmoins identiques (la *"Nuclear Incident Exclusion Clause – Physical Damage – Reinsurance - USA & Canada*").

Ces différentes clauses d'exclusion, ainsi que la réticence générale des assureurs privés à couvrir le risque nucléaire dans leurs souscriptions standards, les ont alors amenés à proposer une solution assurancielle originale : ils ont regroupé leurs compétences humaines et leurs moyens financiers dans des *pools* spécialisés. En Europe, ces *pools* se sont constitués dans chacun des principaux marchés de l'assurance, combinant leurs moyens par le biais de la réassurance. Il est intéressant de noter que l'ensemble de ce système s'est mis en place à la fin des années 1950 en s'inscrivant, dès l'origine, dans une vision globale des acteurs de cette nouvelle activité : nouvelle industrie, nouveau cadre juridique avec la signature des Conventions de Paris, de Bruxelles et de Vienne et la promulgation des lois nationales nucléaires, échanges et contrôles internationaux.

Le regroupement dans un *pool* (qui signifie dans le sens anglais du terme "mise en commun") est souvent défendu comme le moyen d'augmenter la capacité d'assurance lorsqu'elle fait défaut. En effet, la mise en commun des ressources de plusieurs assureurs permet d'offrir des montants plus élevés pour la couverture d'un risque (Faure et Hartlief, 2003 ; Faure, 2004). La constitution d'un *pool* se fait alors par l'intermédiaire d'un accord conclu *ex ante* entre différents assureurs. Cet accord peut aussi parfois concerner différents assureurs et réassureurs, dans le cas où le risque considéré est inassurable sur le marché individuel privé et où seule la mise en commun des capacités de chacun en garantit la couverture. Les principes de base de cet accord sont donc la mutualité et la solidarité entre les membres. Puisque les moyens financiers sont mis en communs, les pertes et les profits sont également répartis sur tous les participants. Ce type de *pool* peut également être constitué par des entreprises sans assureur ou réassureur. Il s'agit alors de *pools* particuliers dans lesquels les industriels membres font le choix de s'auto-assurer et de se co-assurer[163].

Par les avantages qu'elle présente pour la couverture des risques de nature catastrophique et/ou imprévisible, la solution du *pool* entre assureurs et réassureurs est donc

[163] Des exemples précis de ces *pools* sont examinés dans le chapitre 4.

rapidement apparue, aux yeux des autorités et des assureurs, comme appropriée aux spécificités du risque nucléaire. Le marché de l'assurance nucléaire s'est donc concentré à cette fin. Il conserve aujourd'hui la même structure et les exploitants nucléaires ont encore recours à ces *pools* cinquante ans après. C'est au Royaume-Uni et aux Etats-Unis que les premiers *pools* d'assurance nucléaire ont été constitués, en 1957. Le même type de solution assurancielle a ensuite été adopté partout dans le reste du monde. Au total, il existe aujourd'hui vingt-huit *pools* d'assurance et de réassurance du risque nucléaire dans le monde dont dix-sept en Europe. Le Tableau 34 ci-dessous présente ces différents *pools*.

Pays	***Pools* d'assurance nucléaire**
En Europe	
Allemagne	Deutsche Kernreaktor Versicherungsgemeinschaft (DKV)
Belgique	Système Belge d'Assurance Nucléaire (SYBAN)
Bulgarie	Bulgarian National Nuclear Insurance *Pool* (BNNIP)
Croatie	Croatian Nuclear *Pool* (CNP)
Espagne	Aseguradores de Riesgos Nucleares (ARN)
Finlande	Nordic Nuclear Insurers (NNI) ou Finsk Atomförsäkrings*pool*
France	Assuratome
Hongrie	Hungarian Atomic *Pool* (HAP)
Pays-Bas	Nederlandse *Pool* voor Verzekering van Atoomrisico's (NPVA)
République Tchèque	Czech Nuclear Insurance *Pool* (CNIP)
Royaume-Uni	Nuclear Risk Insurers Limited (ou British Nuclear Insurers, BNI)
Russie	Russian Nuclear Insurance *Pool* (RNIP)
Slovaquie	Slovak Nuclear Insurance *Pool* (SNIP)
Slovénie	Nuclear Insurance and Reinsurance *Pool* (NIRP)
Suède	Nordic Nuclear Insurers (NNI) ou Svenska Atomiförsäkrings*pool*en
Suisse	Swiss Nuclear Insurance *Pool* (SNIP)
Ukraine	Ukrainian Nuclear Insurance *Pool* (UNIP)
Hors d'Europe	
Afrique du Sud	South African *Pool* for the Insurance of Nuclear Risks (SAPINR)
Australie	Australian Nuclear Insurance *Pool* (ANIP)
Brésil	Instituto de Resseguros do Brasil (IRB)
Canada	Nuclear Insurance Association (NIA)
Chine	China Nuclear Insurance *Pool* (CNIP)
Corée du Sud	Korea Atomic Energy Insurance *Pool* (KAEIP)
Egypte	Egyptian Nuclear Insurance *Pool* (ENIP)
Etats-Unis	American Nuclear Insurers (ANI)
Japon	Japan Atomic Energy Insurance *Pool* (JAEIP)
Mexique	*Pool* Atómico Mexicano (PAM)
Taiwan	Nuclear Energy Insurance *Pool* of the Republic of China (NEIPRC)

Tableau 34. Les vingt-huit pools d'assurance et de réassurance nucléaire dans le monde en 2007

Parce qu'ils sont, par définition, un regroupement d'assureurs au sein d'une même organisation, les *pools* d'assurance nucléaire présentent la particularité d'être très concentrés. Cette structure spécifique de marché est accentuée par le fait que les assureurs et réassureurs membres des *pools* sont exclusivement spécialisés dans le risque nucléaire. Aucun de ces *pools* n'assure ou ne réassure un autre risque. Cette spécialisation a plusieurs avantages. Elle permet aux membres des *pools* d'une part, de mettre en commun leurs informations et leurs connaissances sur le risque nucléaire. Les assureurs et réassureurs de chaque *pool* bénéficient

ainsi d'une information plus riche, du fait des externalités positives qu'ils retirent de la recherche de l'information (Faure et Vanden Bergh, 1995). En particulier, par rapport aux assureurs de petite taille, les assureurs de grande taille peuvent se procurer de l'information sur le risque à moindre coût. Ils bénéficient, en effet, de par leur grande capacité, d'économies d'échelle. En joignant le *pool*, les petits assureurs ont donc accès à cette information. D'autre part, la spécialisation exclusive dans la couverture du risque nucléaire présente l'avantage, pour les membres du *pool*, de pouvoir développer une capacité d'expertise pointue, très utile lorsqu'on fait face à un risque si spécial. Ces avantages leur permettent ainsi de mieux appréhender le risque qu'ils couvrent et par là, de déterminer avec plus de justesse la prime d'assurance qu'ils vont exiger des exploitants nucléaires.

Pour la plupart, en particulier en Europe, ces *pools* d'assurance nucléaire couvrent non seulement la RC des exploitants nucléaires mais également les dommages matériels susceptibles de toucher leurs installations.

En plus d'être une solution assurancielle peu ordinaire, les *pools* d'assurance et de réassurance nucléaire sont constitués sur une base exclusivement nationale. En effet, comme le montre le Tableau 34, chaque pays dispose de son propre *pool*. Chaque *pool* n'assure et ne réassure que ses exploitants nationaux. Notons que les *pools* finlandais et suédois sont regroupés au sein du même *pool* NNI mais ont deux identités distinctes. Quant à la capacité des *pools*, comme l'explique Faure (2007b), *"les assureurs du pool déterminent (*au début de chaque année) *le montant qu'ils sont prêts à engager pour chaque installation nucléaire assurée. Le total des contributions des assureurs participant au début de chaque année constitue la capacité des pools nationaux"* (p.159). Par conséquent, l'obligation d'assurance à laquelle les exploitants nucléaires sont assujettis en vertu des Conventions de RCN implique que, s'ils souhaitent avoir recours à l'assurance pour couvrir leur responsabilité, ils n'ont d'autre choix que de faire appel au *pool* d'assurance existant dans le pays où ils exercent leur activité. De ce fait, les *pools* d'assurance nucléaire ne sont pas en concurrence les uns avec les autres. Le *pool* d'assurance nucléaire français ne couvre que les exploitants nucléaires français et aucun exploitant étranger. Toutefois, en ce qui concerne (seulement) la réassurance, il est parfois possible que les *pools* interviennent au niveau international. Par exemple, les compagnies d'assurance belges participant au *pool* belge SYBAN ont indemnisé une partie des dommages causés par l'accident nucléaire de Three Miles Island, aux Etats-Unis, en 1979 (Faure, 2007b). Mais cette possibilité concerne uniquement les assureurs et donc en rien les exploitants qui restent liés à leur *pool* national. Le Tableau 34 présente

également une originalité : des pays pourtant non nucléarisés ont constitué des *pools* d'assurance nucléaire (Australie, Brésil, Croatie, Egypte).

Dans la perspective de la révision des Conventions de RCN de Paris et de Bruxelles, et de la nécessité d'augmenter la capacité du marché de l'assurance nucléaire, des mutuelles ont été créées en Europe pour compléter l'activité et la capacité des *pools*. C'est la Belgique qui a pris l'initiative de cette création en mettant en place les mutuelles européennes EMANI et ELINI. Il s'agit d'associations mutuelles d'assurance, appelées aussi *captives,* offrant aux exploitants nucléaires et aux autres acteurs de l'industrie la couverture de divers risques relatifs à leur activité. Ces mutuelles sont inédites en Europe. Contrairement aux *pools*, elles sont ouvertes à l'international.

Pour sa part, EMANI (*European Mutual Association for Nuclear Insurance*) a été constituée à Bruxelles, sous la législation belge par Arrêté Royal, le 20 octobre 1978. Elle couvre à la fois les responsabilités civiles, les dommages matériels nucléaires et les interruptions d'activité de ses exploitants. Toutefois, la part d'assurance consacrée aux interruptions d'activité est beaucoup plus faible en Europe qu'aux Etats-Unis, où les exploitants s'assurent contre ce risque pour des montants substantiellement plus élevés (Faure et Vanden borre, 2007). EMANI couvre tous les types d'exploitations nucléaires (production d'électricité, retraitement des déchets, fabrication de combustible, recherche, etc.). L'attrait des exploitants nucléaires pour EMANI a été très lent à se développer. Debaets (1991) explique cette lenteur par le fait que les exploitants nucléaires européens semblaient peu enclins à se réunir pour couvrir ensemble ces risques. EMANI compte aujourd'hui quarante-sept membres internationaux assurés dans treize pays. Ces membres sont présentés dans le Tableau 35.

Pays	Exploitants nucléaires
Afrique du Sud	ESKOM Act
Allemagne	Advanced Nuclear Fuels GmbH EnBW E.ON kernkraftwerk GmbH Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH GNS Institute for Transuranium Kernkraftwerk Lippe-EMS GmbH Kernkraftwerk Obrigheim GmbH RWE Power AG Vattenfall Nuclearenergy GmbH
Belgique	Belgoprocess NV FBFC International SA SCK- CEN
Canada	Bruce Power L.P.
Finlande	Fortum Power and Heat Oy Teollisuuden Voima Oy
France	AREVA NC EDF Eurodif Production FBFC Socatri
Hongrie	PAKS Nuclear Power Plant Ltd. PURAM
Italie	CCR ISPRA
Pays-Bas	EPZ NV GCO Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale
Royaume-Uni	British Energy Plc. British Nuclear Fuels Plc. Magnox Electric Ltd.
Slovaquie	Slovenske Elektrarne AS
Suède	E.ON Sveridge AB Forsmarks Kraftgrupp AB OKG Aktiebolag Ringhals AB SKAB Studsvik AB
Suisse	AKEB BKW FMB Energie AG CNP Kernkraftwerk Gösgen Däniken Kernkraftwerk Leibstadt NOK AG ZWILAG

Tableau 35. Membres d'EMANI au 08.06.2007 (Source : Rapport EMANI, 2006)

Quant à ELINI (*European Liability Insurance for the Nuclear Industry*), également constituée à Bruxelles sous la législation belge, elle a été autorisée par une décision du Comité de gestion de la CBFA (Commission Bancaire, Financière et des Assurances), le 6 novembre 2003. Elle est spécialisée dans la couverture de la responsabilité civile de ses membres exploitants. Elle en compte aujourd'hui vingt-quatre dans neuf pays européens.

Depuis la création d'ELINI, le portefeuille d'EMANI en risques de RCN a progressivement diminué (Faure et Vanden borre, 2007). L'intérêt d'ELINI est croissant depuis la signature des Protocoles de 2004 qui ont modifié les Conventions AEN/OCDE de première génération, en particulier en redéfinissant le "dommage nucléaire"[164]. ELINI offre ainsi une capacité supplémentaire pour les exploitants nucléaires pour assurer certains dommages plus difficiles à couvrir sur le marché de l'assurance, tels que les dommages de long terme (dus au nouveau délai de prescription de trente ans) et les dommages environnementaux causés par un accident nucléaire. De la même manière, dans le cadre de la discussion, en cours, sur la couverture du risque terroriste que peuvent subir les centrales nucléaires, ELINI pourrait être une option complémentaire[165]. Les membres d'ELINI sont représentés dans le tableau suivant.

Pays	Exploitants nucléaires
Allemagne	EnBW Kraftwerke AG E.ON Kernkraft GmbH RWE Power AG Vattenfall Europe
Belgique	Belgoprocess NV ELECTRABEL SA FBFC International SA SCK- CEN
Finlande	Fortum Power & Heat Oy Teollisuuden Voima Oy
France	AREVA EDF Eurodif SA
Hongrie	Paks Nuclear Power Plant Ltd
Pays-Bas	EPZ NV GKN NV
Slovaquie	Slovenske Elektrarne AS
Suède	E.ON Sweeden AB Forsmarks Kraftgrupp AB OKG Aktiebolag Ringhals AB SKB Studsvik
Suisse	NOK

Tableau 36. Membres d'ELINI au 01.01.2006 (Source : Rapport ELINI, 2005)

La capacité de ces mutuelles est totalement indépendante de la capacité des différents *pools* d'assurance nucléaire en place dans les différents pays. Comme toute mutuelle, elles sont financées par les cotisations de leurs membres. Cette cotisation est déterminée en fonction de leur profil de risque. A titre d'exemple, en 2006, EMANI a perçu 25 millions € de cotisations de ses membres et offrait une capacité d'assurance de 700 millions € (EMANI,

[164] Les détails de ces Protocoles et de cette redéfinition ont été analysés dans le chapitre 1.
[165] Cette discussion sur la couverture du risque terroriste a été présentée dans le chapitre 1, p.60.

2006). ELINI, quant à elle, a perçu, en 2005, près de 1 million € de cotisations pour une capacité d'assurance de 74 millions € (ELINI, 2005).

Leurs principaux avantages sont : une capacité complémentaire pour les risques de dommages matériels, de pertes d'exploitation et de RC nucléaire, la possibilité de réduire les cotisations des membres, de leur allouer l'excédent de l'exercice, les évaluations en matière de prévention du risque et d'ingénierie et l'échange d'informations en matière d'assurance nucléaire (Vilnet, 2004). Néanmoins, ces mutuelles restent liées aux *pools* nationaux car, dans l'éventualité d'un sinistre, elles doivent généralement suivre les recommandations et la fixation du montant des dommages des experts nommés par les *pools*. Seulement, dans certains cas, leurs directions peuvent décider s'il est opportun de nommer des experts indépendants.

Malgré cette dépendance, ces mutuelles d'assurance sont intéressantes. En particulier, ELINI est un exemple original de couverture complémentaire du risque nucléaire en responsabilité civile. Elle est encore très jeune et sa capacité est encore limitée. Cependant, on peut s'attendre à ce que son activité s'étende dans le futur, du fait du relèvement récent du plafond de responsabilité. Elle entrerait alors directement en concurrence avec les *pools* d'assurance nucléaire, gagnant ainsi des parts de marché sur eux. Aujourd'hui, cette concurrence n'est pas encore significative.

Enfin, ces mutuelles européennes se sont fortement inspirées des mutuelles américaines déjà existantes. Selon le *Price-Anderson Act*, présenté dans le chapitre 1, les exploitants nucléaires couvrent leur RC en deux tranches. La première est couverte individuellement par une assurance-RC (300 millions $US). La seconde est couverte conjointement par les exploitants (10,46 milliards $US) dans le cadre d'un accord de partage de risque. Seule la première tranche de risque nous intéresse ici[166]. Elle est couverte auprès du *pool* d'assurance ANI (*American Nuclear Insurers*), qui est, comme tous les autres *pools*, spécialisé dans la couverture du risque nucléaire (dommages et responsabilité civile). A l'origine, deux *pools* d'assurance nucléaire co-existaient aux Etats-Unis. Depuis 1998, ANI est le seul *pool* exerçant. Il assure la responsabilité civile des exploitants nucléaires nationaux (à travers son *Domestic Syndicate*) mais propose aussi une réassurance pour les exploitants étrangers (à travers son *Foreign Syndicate*). ANI compte, parmi ses clients étrangers, des exploitants mexicains, canadiens, sud-africains et sud-coréens. Contrairement aux *pools*

[166] La seconde est analysée en détail dans le chapitre 4.

d'assurance nucléaire européens, ANI ne couvre pas les dommages aux installations. Ces dommages sont pris en charge par la mutuelle NEIL (*Nuclear Electric Insurance Limited*). Cette mutuelle, basée sur l'ancienne NML (*Nuclear Mutual Limited*), fondée en 1973, a été créée en 1980 en réponse à l'accident de Three Mile Island, par des exploitants. NEIL couvre les dommages matériels des centrales nucléaires et le risque d'interruption d'activité. Elle n'est donc pas en concurrence directe avec le *pool* ANI (Faure et Vanden borre, 2007). Toutefois, les activités d'ANI et de NEIL sont fortement liées puisque ANI la réassure à hauteur de 45% (NEIL, 2005). En Europe, NEIL concurrence la mutuelle EMANI avec son extension irlandaise ONEIL (*Overseas NEIL*), lancée en 1999 en partenariat avec ACE (*ACE Bermuda Insurance Limited*). Notons que contrairement à EMANI, ONEIL ne couvre que les dommages pour les exploitations civiles de production. Elle compte actuellement parmi ses assurés des exploitants belges, allemands, suédois et suisses. La capacité actuelle de couverture de NEIL et d'ONEIL s'élève à près de 3 milliards $ US (2,6 milliards €) (NEIL, 2005).

Le tableau suivant compare les capacités financières des différentes mutuelles européennes et américaines d'assurance nucléaire.

Mutuelle	Dommages couverts	Capacité financière
EMANI	Dommages matériels Interruption d'activité RCN	700 millions €
ELINI	RCN	74 millions €
NEIL /ONEIL	Dommages matériels Interruption d'activité	2,6 milliards €

Tableau 37. Capacités financières respectives des mutuelles d'assurance nucléaire en 2006

Face aux pertes qu'un accident nucléaire (en particulier majeur) peut engendrer, le regroupement des capacités financières des assureurs s'est imposée. La nature et le volume du risque nucléaire ont donc nécessité une concentration forte du marché de l'assurance. De ce fait, la RC des exploitants nucléaires est aujourd'hui essentiellement couverte par des *pools* d'assureurs et de réassureurs nationaux. Comment, en pratique, ces *pools* fonctionnent-ils ? L'exemple de l'assurance nucléaire française donne une illustration du fonctionnement de ces *pools* nucléaires.

2.1.2.2. Le marché de l'assurance nucléaire français

Le développement de l'énergie nucléaire a suscité en France, dès les années 1950, la mise en place de règles spécifiques de responsabilité et d'assurance. Les premiers contrats d'assurance souscrits par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et par EDF remontent à 1957, date de l'exclusion du risque nucléaire des contrats standards d'assurance et de réassurance.

Les exploitants d'installations nucléaires en France sont actuellement garantis par un contrat type qui couvre leur RC objective à concurrence du plafond de 91 millions € par accident. Ce montant a été fixé, nous l'avons vu, par la loi française du 31 octobre 1968, modifiée le 16 juin 1990. Pour ce qui est plus spécifiquement d'EDF, nous avons également vu que seule une partie de sa RC est couverte par l'assurance, qui intervient en "excédent de perte". Ainsi, en vue de garantir la disponibilité des fonds requis du fait de ces obligations, EDF couvre les premiers 60 millions € de son plafond par ses propres réserves financières et seuls les 31 millions € restant sont assurés (donc en excédent de perte) au sens strict. Pour ce dernier tiers, l'exploitant français a opté pour la conclusion de polices d'assurance auprès des AGF (Assurance Générale de France) d'AXA Corporate Solution et d'ELINI (EDF, 2006a). Les assureurs d'EDF appartiennent au *pool* d'assurance français Assuratome, au sein duquel ils sont réassurés. Les montants couverts par ces polices correspondent aux montants de responsabilité encourus en cas d'accident, tels que fixés par la réglementation, tant sur une installation nucléaire qu'en cours de transport[167].

Le *pool* Assuratome est un groupement de réassurance comprenant quatre-vingt-six sociétés d'assurance et de réassurance, créé spécialement pour couvrir le risque nucléaire (Carrez, 2003 ; De Loustal, 2003). Assuratome comprend donc les assureurs d'EDF ainsi que de multiples réassureurs. Ce montage, représenté sur la Figure 13, a été rendu nécessaire par la généralisation de l'exclusion des risques nucléaires des contrats d'assurance-RC au chef de l'entreprise.

[167] Concernant les accidents en cours de transport, une assurance spécifique couvre la responsabilité civile de l'exploitant conformément, à la réglementation, à hauteur de 23 millions €.

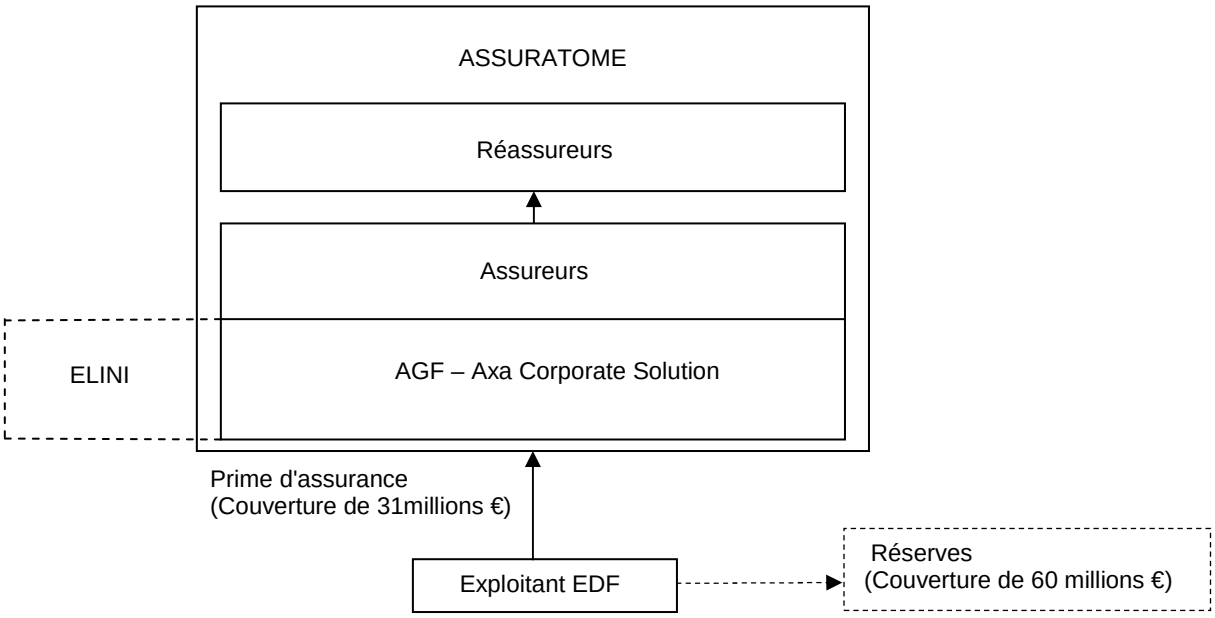


Figure 13. Le marché de l'assurance et de la réassurance nucléaire en France

A l'origine, le *pool* d'assurance nucléaire français était le PFARA (*Pool* Français d'Assurance des Risques Atomiques), créé en 1957, sous la forme d'une association. Le PFARA s'est transformé ensuite, en 1969, en Groupement d'Intérêt Economique (GIE) pour devenir véritablement Assuratome en 1995. En comparaison avec les assureurs du marché de l'assurance traditionnel étudié précédemment, Assuratome se distingue largement. Outre le fait qu'il soit très concentré et monopolistique, il a en effet un statut juridique très particulier. En effet, un GIE est un Groupement doté de la personnalité morale qui permet à ses membres (qui doivent être deux au minimum) de mettre en commun certaines de leurs activités afin de les faciliter ou les développer, ou d'améliorer ou d'accroître les résultats de cette activité, tout en conservant leur individualité.

Cette structure intermédiaire entre la société et l'association, dont l'objet ne peut être que de prolonger l'activité de ses membres (activité auxiliaire), a été instituée par l'Ordonnance française du 23 septembre 1967, aujourd'hui intégrée dans le Code du Commerce aux articles L. 251-1 et suivants[168]. Les membres du GIE sont indéfiniment et solidairement responsables des dettes et le groupement ne peut réaliser de bénéfices pour lui-même, ce qui lui enlève une partie de son intérêt. Néanmoins, il présente l'avantage d'être soumis à des règles juridiques très souples, notamment en ce qui concerne son capital social (possibilité de constitution sans capital), son objet (civil ou commercial) ou ses modalités

[168] Le Code de Commerce reprend les règles concernant les sociétés commerciales et les GIE, ainsi que les dispositions de l'ordonnance française de 1986 sur la concurrence.

d'organisation. En pratique le GIE est fréquemment utilisé pour une coopération durable entre professionnels[169].

Assuratome présente donc un statut particulier, qui se distingue de toutes les autres formes juridiques présentes sur le marché de l'assurance (sociétés d'assurance, sociétés mutuelles, mutuelles, etc.). De plus, le *pool* est soumis à des exigences strictes en matière de transparence fiscale et de contrôle réglementaire par la CCA (Commission de Contrôle des Assurances[170]) et le Code des Assurances (qui définit notamment le régime des provisions du *pool* prévu dans l'article 331-6 du Code[171]) (De Loustal, 2003). Il assure ainsi toutes les Installations Nucléaires de Base (INB) françaises, dont celles d'EDF, et certaines ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) et installations nucléaires médicales. Dans son activité de réassurance, il réassure les responsabilités civiles impliquant les exploitants, les transports, les radio-isotopes professionnels (agriculture, industrie, médecine) ainsi que les dommages et les démantèlements des installations. En 2003, la capacité totale d'Assuratome, toutes activités confondues, s'élevait à 365 millions €, dont 114 millions € pour la couverture de la RC (De Loustal, 2003 ; Betbèze et Bentoglio, 2005).

De là, deux remarques émergent. D'une part, si la capacité totale du *pool* est importante, elle l'est toutefois beaucoup moins que celle d'autres offreurs du marché de l'assurance nucléaire, tels que la mutuelle américaine NEIL d'une capacité actuelle de 3 milliards$US. D'autre part, Assuratome couvre à la fois les dommages matériels aux installations et la RC des exploitants. Or, la capacité disponible exclusivement pour la couverture de la RC des exploitants (dont EDF) est à peine supérieure au plafond actuel (114 millions € > 91 millions €). Dès lors, on peut se demander dans quelle mesure Assuratome sera capable de satisfaire les nouvelles exigences de capacité et de couverture requises par les récents amendements législatifs de 2004[172].

La constitution de *pools* d'assurance spécialisés et nationaux a été, dès le début du développement de l'industrie nucléaire civile, la seule réponse apportée par le marché à la

[169] Outre le *pool* d'assurance nucléaire Assuratome, on trouve en France le GIE des cartes bancaires (regroupant les banques utilisant ce mode de paiement), le GIE regroupant les commerçants locataires dans les centres commerciaux ou le GIE organisant une assistance technique et des services communs pour des experts comptables.

[170] La CCA est chargée, en France, du contrôle des entreprises d'assurance, de réassurance et de participations d'assurance.

[171] Cet article définit le statut et les obligations relatives aux provisions du *pool* telles que les provisions techniques, non acquises, pour risque en cours, égalisation, capitalisation, etc. Cet article est en ligne sur le sit de Légifrance (au 01.01.07 : www.legifrance.gouv.fr).

[172] La section suivante revient précisément sur cette question.

couverture du risque nucléaire. Ce marché, très concentré, présente donc une structure particulière, qui le distingue des autres marchés assuranciels. L'exemple français en a donné une bonne illustration. Toutefois, si cette organisation de marché se justifiait par l'inassurabilité du risque nucléaire sur les marchés traditionnels, elle tient aujourd'hui essentiellement parce qu'elle est protégée du droit de la concurrence. Or, cette protection est source d'inefficacités.

2.1.3. Un marché de l'assurance non-concurrentiel

La nature et le volume du risque nucléaire ont nécessité la concentration des capacités financières des assureurs et des réassureurs afin de rendre le risque assurable. Cependant, cette concentration n'est pas compatible avec la concurrence qui, par définition, implique l'atomicité du marché, c'est-à-dire la multiplicité des offreurs. Ainsi, il y a une opposition de nature entre assurabilité du risque nucléaire et concurrence. Exempter le marché de l'assurance nucléaire du droit de la concurrence est donc justifié, de ce point de vue (2.1.2.1). Néanmoins, cette exemption est source d'inefficacités économiques (2.1.2.2).

2.1.3.1. Le marché de l'assurance : une exception au droit de la concurrence

Le droit de la concurrence regroupe l'ensemble des dispositions législatives et réglementaires visant à garantir le respect du principe de la liberté du commerce et de l'industrie (Glais, 1983 ; 1993). Il est connu sous l'expression de droit "*antitrust*" aux Etats-Unis (par référence au *Sherman Antitrust Act* de 1890). Il a pour mission de favoriser la concurrence par rapport à toute autre forme de marché et de s'assurer que les entreprises se font concurrence de manière loyale. Dès lors, l'un des principaux rôles des autorités de concurrence est de surveiller et de condamner les comportements anti-concurrentiels tels que les ententes illicites entre entreprises (collusions, cartels[173]) ou les abus de position dominante. Les condamnations prennent alors la forme du paiement d'une amende, du versement de dommages et intérêts et/ou du démantèlement de ou des entreprises concernées.

Dans le cadre de l'Union Européenne, le droit de la concurrence s'insère dans les dispositions prévues par le Traité de Rome (1957), instituant la CEE (Communauté

[173] Une collusion est une entente secrète entre deux ou plusieurs entreprises au préjudice d'une ou de plusieurs autres. Un cartel est une union d'entreprises dans un but commun. L'objectif de ces deux formes d'ententes peut être divers. Les pratiques les plus courantes concernent les ententes sur le prix de vente des produits.

Economique Européenne), à l'origine de l'Union Européenne. Parmi ces dispositions, la condamnation des pratiques anti-concurrentielles est inscrite dans l'article 81-1 (anciennement 85-1) du Traité, qui interdit explicitement, dans le cadre de l'Union Européenne, les regroupements et ententes entre entreprises. L'article 81-1 est, en effet, rédigé comme suit : *"Sont incompatibles avec le marché commun et interdits tout accord entre entreprises, toute décision d'association d'entreprises et toute pratique concertée, qui sont susceptibles d'affecter le commerce entre Etats membres et qui ont pour objet ou pour effet d'empêcher, de restreindre ou de fausser le jeu de la concurrence à l'intérieur du marché commun"*.

A cet article, le Traité de Rome prévoit toutefois des exemptions, instaurées par l'article 81-3 (anciennement 85-3) comme suit :

"Les dispositions du paragraphe 1 peuvent être déclarées inapplicables à tout accord (…) qui contribue à améliorer la production ou la distribution des produits ou à promouvoir le progrès technique ou économique tout en réservant aux utilisateurs une partie équitable du profit qui en résulte et sans a) imposer aux entreprises intéressées des restrictions qui ne sont pas indispensables pour atteindre ces objectifs et b) donner à des entreprises la possibilité pour une partie substantielle des produits en cause, d'éliminer la concurrence".

Ainsi, par cet article 81-3, le droit européen de la concurrence considère que, dans certaines situations, les ententes entre entreprises sont préférables à la concurrence. C'est tout particulièrement le cas du marché de l'assurance qui est souvent perçu comme un marché à part. De ce fait, ce marché est, en Europe, exempté de l'article 81-1 précité. Il est régi par le Règlement européen CEE n°358/2003 du 27 février 2003, dit "concernant l'application de l'article 81, paragraphe 3, du traité à certaines catégories d'accords, de décisions et de pratiques concertées dans le secteur des assurances"[174]. Selon ce Règlement :

"La Commission peut, par voie de règlement et conformément à l'article 85 paragraphe 3 du traité, déclarer que l'article 85 paragraphe 1 n'est pas applicable à des catégories d'accords entre entreprises, de décisions d'associations d'entreprises et de pratiques concertées dans le secteur des assurances qui ont pour objet une coopération en ce qui concerne : a) l'établissement en commun de tarifs de prime de risque basés sur des statistiques collectives ou sur le nombre de sinistres ; b) l'établissement de conditions types

[174] Le texte intégral de ce Règlement est consultable en ligne sur le site de l'Union Européenne (au 01.01.07 : http://europa.eu).

d'assurance ; c) la couverture en commun de certains types de risques ; d) la vérification et l'acceptation d'équipements de sécurité".

Ce Règlement remplace le précédent Règlement CEE n°3932/92 du 21 décembre 1992, expiré le 31 mars 2003. Il expirera lui-même le 31 mars 2010. Néanmoins, au contraire de ce dernier, le Règlement de 2003 ne retient plus, comme objets d'exemption, les accords concernant le règlement des sinistres et les registres et l'information sur les risques aggravés[175]. La CE émet toutefois certaines conditions à l'application de l'exemption. L'article 11 du Règlement stipule en effet que :

"1. L'exemption s'applique à condition que les produits d'assurance souscrits par les entreprises participantes ou pour leur compte ne représentent pas, dans aucun des marchés concernés : pour les groupements de coassurance, plus de 10 % de l'ensemble des produits d'assurance identiques ou considérés comme similaires du point de vue des risques couverts et des garanties offertes ; pour les groupements de coréassurance, plus de 15 % de l'ensemble des produits d'assurance identiques ou considérés comme similaires du point de vue des risques couverts et des garanties offertes (…);

2. Par dérogation au paragraphe 1, les pourcentages de 10 ou de 15 % peuvent s'appliquer aux seuls produits d'assurance apportés au groupement, à l'exclusion des produits identiques ou similaires souscrits par les entreprises participantes ou pour leur compte et non apportés au groupement, lorsque ce groupement couvre : des risques catastrophiques dont les sinistres présentent à la fois une faible fréquence et une grande ampleur ou des risques aggravés qui présentent un taux de probabilité de sinistre plus élevé en raison des caractéristiques du risque assuré".

De cette manière, l'Union Européenne autorise, de façon explicite et à certaines conditions, une coopération entre assureurs dans le but d'échanger des informations sur un risque et de le couvrir (Levie et Cousy, 1994 ; Furse, 2006). C'est précisément à ce régime de faveur que sont soumis les *pools* d'assurance nucléaire comme Assuratome, en France. Ils bénéficient, en vertu de l'article 81-3 du Traité de Rome et de l'article 11-2 du Règlement CEE de 2003, d'une exemption au droit européen de la concurrence. Un tel régime de faveur profiterait à la fois aux consommateurs (les assurés) et aux producteurs (les assureurs)

[175] Les risques aggravés sont des risques qui ne sont pas conformes à la moyenne. La personne ou l'entreprise assurée présente alors des caractéristiques susceptibles soit d'augmenter sa probabilité d'avoir un sinistre, soit de provoquer une réalisation du sinistre plus rapide que la normale (emprunteur insolvable, assuré malade, etc). Dans ce cas, l'assurance est fournie moyennant un avenant, un contrat spécial ou une surprime.

d'assurance. Son existence est justifiée selon les cinq arguments suivants, donnés par Faure et Vanden Bergh (1995).

Premièrement, la coopération entre assureurs présenterait l'avantage de faciliter le calcul de la prime d'assurance par la mise en commun des informations de chacun sur le risque couvert. Cet argument a déjà été soulevé plus haut (voir 2.1.2.1) et concerne en particulier les risques empreints d'incertitudes et/ou catastrophiques. Les informations sur le risque seraient alors considérées comme des biens publics, partagés et enrichis. De cette façon, le risque accèderait à la loi des grands nombres et serait plus facilement assurable. En conséquence, la prime revêtirait une dimension "naturellement monopolistique" (Faure et Vanden Bergh, 1995, p.68).

Deuxièmement, étant donné que les risques deviennent de plus en plus larges, ils nécessitent un regroupement des capacités financières pour garantir la réparation des dommages et l'indemnisation des victimes. Le marché coopératif de l'assurance tout entier deviendrait alors lui aussi naturellement monopolistique. Cet argument confirme l'opposition par nature entre assurabilité du risque nucléaire et concurrence. Cette coopération permettrait, de surcroît, aux petites sociétés d'assurance d'intégrer le marché, soutenues par la capacité financière des plus importantes (Havens et Theisen, 1986).

Troisièmement, l'entente entre assureurs serait favorable aux consommateurs qui, victimes d'une asymétrie informationnelle sur le risque, seraient dans l'impossibilité de comparer les différentes polices proposées par des assureurs en concurrence. Cet argument justifie les ententes par le fait qu'elles favoriseraient la transparence des offres par la standardisation des termes des contrats.

Egalement, toujours dans un objectif de protection du consommateur, l'entente est autorisée pour éviter que les assureurs ne se soumettent à une concurrence trop rude, impliquant une "course vers la ruine" (Faure et Vanden Bergh, 1995, p.75). Ce type de comportement se traduit par la pratique de prix de plus en plus bas de la part des assureurs, pour étendre leur capacité et accroître leurs parts de marché. Cet argument est valable lorsqu'il y a plusieurs demandeurs d'assurance sur le marché. En situation de monopsone, les assureurs ne se font plus concurrence *sur* le marché mais *pour* le marché (Chadwick, 1859 ; Richer, 2007). Or, ce comportement est susceptible de menacer la santé financière des assureurs et ainsi d'accroître le risque de faillites des assureurs les plus féroces.

Le dernier argument fait écho au précédent. En effet, le risque d'insolvabilité des assureurs n'est pas acceptable vis-à-vis des victimes, qui risqueraient alors de ne pas être

indemnisées, en cas d'accident. Dès lors, la coopération entre assureurs permettrait de pallier ce risque et d'éviter ainsi des coûts sociaux importants.

Cependant, dans le cas de l'assurance du risque nucléaire (comme dans beaucoup d'autres cas), ces arguments sont fortement discutables du point de vue de l'efficacité de l'exemption.

2.1.3.2. Une exemption inefficace

Bien que les intentions du régime exemptoire du droit européen de la concurrence soient louables et théoriquement justifiées, les dispositions qui les soutiennent sont aussi sources d'inefficacités. Faure et Vanden Bergh (1990) résument ces inefficacités en disant : *"pooling of risks in so-called national nuclear insurance pools leads to high premiums, a low availability of insurance capacity and low financial limits on the liability of the licensee of a nuclear power plant as a result of the lobbying power of the nuclear insurance pool and the nuclear industry"*[176] (p.72). Les inefficacités concernent alors le prix, la capacité et le montant des dommages couverts sur le marché de l'assurance.

En premier lieu, il est en effet démontré que, dans la plupart des cas, à cause de l'exemption au droit de la concurrence, les assureurs abusent de leur position en étendant le champ d'autorisation de leur entente à des domaines initialement interdits. Par exemple, si le Règlement de 2003 autorise l'échange d'information dans le but de faciliter le calcul de la prime d'assurance, il n'en demeure pas moins que les ententes sur une majoration quelconque de la prime restent condamnées. Il est certain que les incertitudes sur le risque nucléaire justifient la nécessité, pour les assureurs, d'échanger de l'information sur ce risque. Toutefois, l'exemption ne concerne, en principe, que l'échange d'information sur la prime indicative (ou "prime pure"). Nous rappelons que la prime indicative reflète l'appréciation objective du risque par l'assureur, c'est-à-dire, l'espérance mathématique des pertes. Elle est réduite à sa forme la plus élémentaire et ne comprend ni d'autres coûts (prime de risque, coûts internes, etc.) ni le profit des assureurs qui peuvent ensuite être intégrés à la prime finale (appelée alors "prime commerciale"). La coopération entre assureurs ne doit donc concerner que

[176] *"Le regroupement des risques dans ce que l'on appelle les pools d'assurance nucléaire aboutit à des primes élevées, une faible capacité d'assurance disponible et des limites de responsabilité basses de l'exploitant d'une centrale nucléaire comme les résultats d'un pouvoir de lobbying entre le pool d'assurance nucléaire et l'industrie nucléaire".*

l'estimation des dommages et les probabilités de réalisation du risque. Or, Faure et Vanden Bergh (1995) montrent, pourtant, que la détermination commune de la prime, dans le cadre de ces exemptions, masque souvent de réelles ententes entre assureurs sur le prix. *"There is only a thin line between the so-called "indicative premiums" and real horizontal price agreements"*[177] (p.70). Profitant de leur régime de faveur et de leur concentration, les assureurs seraient tentés de fixer une prime excessive par rapport à la prime qu'ils auraient exigée en situation de concurrence. Cette prime excessive est un surcoût pour le consommateur et lui est alors défavorable[178]. Les études empiriques menées par Finsinger et Schmidt (1994) en Europe ont, par ailleurs, montré que les primes d'assurance dans les pays présentant un fort degré de réglementation gouvernementale et de concentration sur leur marché de l'assurance, étaient en moyenne deux fois plus élevées que dans les pays où les marchés étaient plus libres et plus concurrentiels.

De plus, l'échange d'information sur le risque, permis par l'exemption, peut prendre la forme d'une cartellisation de l'information et donc créer une barrière artificielle à l'entrée sur le marché. Etant donné que le risque nucléaire est difficile à mesurer et à prévoir, l'existence d'une telle barrière est tout à fait plausible. Dans ce cas, la garantie de transparence (troisième argument avancé pour justifier l'exemption) n'est plus vérifiée, ni l'argument selon lequel les *pools* permettraient aux petites compagnies d'assurance d'intégrer le marché de la couverture des risques catastrophiques, qui serait, sinon, exclusivement réservé aux seules grandes compagnies. Ce faisant, les *pools* violent aussi l'article 11 du Règlement CEE de 2003 précité car il est peu probable que leur existence puisse se justifier dans les limites très strictes (10% à 15% des produits d'assurance) imposées par le Règlement. La réglementation devient alors un instrument pour les assureurs de l'entente, par lequel ils essaient de conserver leur pouvoir de marché. Ces derniers ont une incitation à maintenir l'incontestabilité de leur marché et le risque existe qu'ils en viennent à adopter un comportement de *lobbying* (Baumol *et alii*, 1982). Nous rejoignons l'argument de Faure et Vanden Bergh (1995) selon lequel : *"insurers in concentrate markets try to enforce cartel agreements concerning policy conditions through regulation in order to force the potential newcomers to comply with the fixed policy*

[177] *"Il y a seulement une frontière très mince entre les primes indicatives et de réels accords horizontaux de prix"*.
[178] Cet argument est illustré avec l'exemple de la prime d'assurance française dans le paragraphe suivant.

conditions and premiums"[179] *(*p.78). Par ailleurs, plusieurs analyses ont montré qu'il existe une corrélation positive forte entre le niveau de concentration d'un marché et le degré de réglementation en vigueur sur ce marché (Finsinger *et alii*, 1985 ; Eisen *et alii*, 1993 ; Finsinger et Schmidt, 1994).

Dans le cas de l'assurance du risque nucléaire, l'activité de *lobbying* s'opère de manière trilatérale entre deux monopoles et l'Etat. Comme le montre la figure suivante, trois forces s'exercent alors. De son côté, le *pool* d'assureurs nucléaires fait pression sur l'Etat pour conserver son exemption. L'Etat le protège en retour en lui permettant de conserver son privilège (flèche 3). Le *pool* profite alors de sa position en pratiquant des primes élevées pour couvrir le risque nucléaire (flèche 1). L'industrie nucléaire (elle aussi très concentrée dans la plupart des pays nucléarisés) fait pression, quant à elle, à la fois sur l'Etat et le *pool* pour que sa RC soit plafonnée financièrement (flèches 1 et 2).

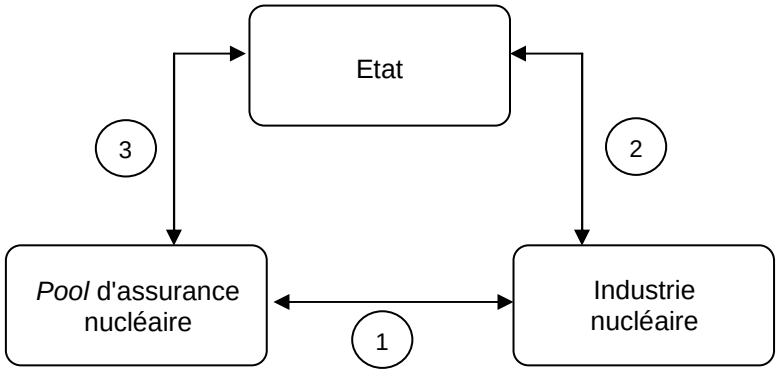


Figure 14. Lobbying trilatéral sur le marché de l'assurance nucléaire

De là, d'aucuns pourraient se demander pourquoi, s'il est un monopsone sur le marché de l'assurance, EDF ne fait pas (plus) pression sur le *pool* d'assureurs pour qu'il réduise sa prime. Bien sûr, cette situation de monopole bilatéral est une caractéristique propre à la France qui ne peut être généralisée à tous les pays européens nucléarisés. En effet, bien que les *pools* d'assurance nucléaire soient tous monopolistiques en Europe, la production d'énergie nucléaire est oligopolistique dans plusieurs pays. C'est le cas, par exemple, de l'Allemagne (huit exploitants), de l'Espagne (quatre exploitants) ou de la Suède (trois exploitants). Pour le cas spécifique d'EDF, deux explications peuvent alors être apportées. Premièrement, le paiement d'une prime élevée peut être considéré en quelque sorte comme le "prix" à payer par l'exploitant pour bénéficier d'un plafond de responsabilité bas. L'Etat octroie une protection à l'exploitant en limitant sa RC. On peut donc penser qu'en contre-

[179] *"Sur des marchés concentrés, les assureurs essaient de mettre en place des accords concernant les conditions des polices d'assurance à travers la réglementation, afin de contraindre les nouveaux entrants à se conformer aux primes et conditions fixées".*

partie, il l'oblige, par l'intermédiaire du *pool*, à payer une prime sur-évaluée. La prime serait alors le résultat d'une négociation entre l'Etat, le *pool* d'assurance et l'exploitant. Deuxièmement, l'exploitant est obligé de s'assurer. Aussi, est-il contraint de se plier aux exigences du seul offreur sur le marché, le *pool*.

On a vu également que la majorité des *pools* d'assurance nucléaire couvraient à la fois les dommages aux installations et la RC des exploitants. Pourtant, ces deux catégories de dommages ne relèvent pas du même type de contrat d'assurance, et donc pas de la même police. A ce sujet, Faure et Vanden Bergh (1990) notent combien il est étonnant de voir que, sur le marché de l'assurance nucléaire, les *pools* assurent les centrales nucléaires elles-mêmes pour des montants beaucoup plus élevés que la RC des exploitants. Il s'agit d'un aspect très important, puisque le montant disponible pour l'assurance-RC est limité par le montant disponible pour l'assurance-dommages de la centrale. Concernant Assuratome, on a vu plus haut, que la couverture de la RC (114 millions €) représentait à peine 30% de sa capacité totale (365 millions €). Autrement dit, 70% de ses ressources sont consacrées à l'assurance-dommages. Cette association de l'assurance-dommages et de l'assurance-RC dans les *pools* d'assurance nucléaire, combinée à l'activité de *lobbying* des exploitants, limite donc le montant disponible pour l'assurance-RC (Dow, 1985 ; Faure, 2007b). En conséquence, ni le prix (potentiellement excessif) ni la capacité (trop faible) du marché de l'assurance nucléaire ne sont optimisés.

En outre, la concentration des assureurs n'est pas le seul moyen de garantir la solvabilité des assureurs et donc l'indemnisation des assurés. En effet, comme le suggèrent Faure et Vanden Bergh (1995), leur solvabilité peut être soutenue par la mise en place d'un fond de garantie, comme cela existe pour les accidents de la route[180], ou encore l'imposition aux assureurs de conditions strictes sur leur montant de capital social, leur marges de solvabilité ou encore leurs provisions pour sinistres.

Quant à l'argument selon lequel la coopération entre assureurs favoriserait le consommateur par la standardisation des polices d'assurance, il est également contestable. En

[180] En France, un tel fond existe. Il s'agit du Fonds de Garantie Automobile (FGA), créé le 31 décembre 1951, qui vise à dédommager financièrement des frais matériels et hospitaliers, suite à des accidents de voiture entraînant des dommages corporels et matériels. Une victime peut notamment avoir recours au FGA lorsqu'elle ne dispose d'aucune information concernant l'identité du responsable de l'accident, mais aussi si ce dernier n'est pas assuré ou encore insolvable. Le FGA n'exempte toutefois pas les auteurs de leurs responsabilités puisqu'ils sont soumis au remboursement des fonds prêtés par le FGA à leur égard.

effet, dans le cas de l'industrie nucléaire, ou de toute autre industrie de pointe risquée, l'industriel (l'exploitant) est souvent mieux informé sur le risque que l'assureur lui-même. L'argument de l'asymétrie informationnelle n'est donc pas convainquant dans ce cas. De plus, dans la plupart des pays, l'industrie nucléaire est très concentrée. Elle représente donc un unique consommateur d'assurance. Elle est un monopsone. Il en est de même pour EDF, qui est l'unique producteur d'énergie nucléaire français. Si les assureurs étaient en concurrence, cette position lui procurerait l'avantage de pouvoir faire pression sur eux, pour qu'ils soient les plus compétitifs et les plus transparents possible. Or, face à un unique *pool* d'assureurs, l'exploitant nucléaire n'a pas le choix. Etant donné qu'il est obligé de couvrir sa RC, en vertu des Conventions AEN/OCDE, s'il n'a pas d'autre moyen à sa disposition, le *pool* peut alors exercer sur lui son pouvoir de marché, tout en étant peu transparent. Ainsi, contrairement à l'argument invoqué plus haut, dans le cas du nucléaire, la transparence du marché de l'assurance n'est donc pas conditionnée à sa concentration mais, à l'inverse, à sa structure concurrentielle.

Enfin, on peut aussi examiner la question de l'efficacité des *pools* d'assurance nucléaire par rapport à leur champ d'application géographique. Si le Règlement exemptoire de la CE ne précise rien sur ce point, on peut toutefois se demander si l'organisation des marchés de l'assurance nucléaire par pays est pertinente. En effet, dans ce domaine, comme dans d'autres secteurs d'activités, il existe un fort développement des échanges (échanges de technologies, échanges financiers et échanges de matières). Les marchés nationaux de l'assurance nucléaire doivent donc s'adapter à des clients constitués pour beaucoup en groupes internationaux. De plus, on peut remettre en case la logique d'une organisation assurancielle nationale alors qu'elle a pour but de couvrir un risque dont les conséquences peuvent être transfrontalières.

Pour conclure, bien que les autorités nucléaires fassent valoir le fait que, sans les *pools*, le risque nucléaire ne serait pas assurable, des doutes sont émis quant à la pertinence actuelle de cette organisation de marché. Ces *pools* ne sont pas une solution de marché au sens strict car ils sont concentrés et bénéficient de certains privilèges, au premier rang desquels l'exemption du droit de la concurrence. Cette exemption est source d'inefficacités en termes de prix et de capacité. Les *pools* sont, de plus, très opaques quant à leurs activités et leurs bilans financiers. Lors de l'élaboration de ce travail, nous nous sommes en effet heurtés, à une grande difficulté pour trouver des informations les concernant. A titre d'illustration,

seulement six *pools* sur les vingt-huit existants disposent aujourd'hui d'un site Internet et publient régulièrement des rapports d'activité. En l'occurrence, il s'agit des *pools* américain, britannique, belge, finlandais, suédois et tchèque. Ainsi, s'ils semblaient la seule solution assurancielle viable dans les années 1960, ces *pools* souffrent aujourd'hui d'obsolescence. Cette conclusion va maintenant être illustrée, en s'appuyant à nouveau sur l'exemple du marché de l'assurance nucléaire français. En particulier, les coûts de ce marché vont être examinés.

2.2. Une assurance coûteuse : l'exemple de la France

Une des principales critiques adressées aux *pools* d'assurance nucléaire consiste à dire qu'ils pratiquent des primes d'assurance excessives, du fait de leur position monopolistique sur le marché. Cette sous-section a pour objectif d'examiner avec soin cette question en s'appuyant sur un exemple précis : celui de la France.

Bien qu'elle soit offerte par un *pool*, l'assurance-RC d'EDF fonctionne comme les autres assurances traditionnelles. Les assureurs d'EDF exigent de lui le paiement d'une prime pour la couverture du risque qu'il génère sur ses installations. En échange, EDF a la garantie qu'en cas d'accident, il se verra déchargé de la réparation des dommages à hauteur du montant fixé par le contrat. La prime est, bien sûr, déterminée par le *pool* qui jouit d'un pouvoir de marché en la matière. Du fait de la nature même du risque nucléaire, le calcul de la prime d'assurance est délicat. Il sera montré, dans un premier temps, que la prime d'assurance actuellement payée par EDF diffère grandement de sa valeur actuarielle (2.2.1). Deux explications seront alors avancées à cet écart : une explication en termes de structure du marché (2.2.2) et une explication en termes de nature du risque (2.2.3).

2.2.1. Le calcul de la prime d'assurance nucléaire : une boîte noire ?

Comme le chapitre 2 l'a précisé, du fait du secret commercial auquel les assureurs sont tenus (et certainement aussi du fait de l'opacité des *pools*), le détail du calcul de la prime d'assurance payée par EDF n'est pas accessible au public. Pour approcher ce calcul, l'analyse du chapitre 2 s'était donc appuyée sur les enseignements de la littérature de l'assurance et du risque et sur des hypothèses aussi réalistes que possible, quant à ses modalités. L'exercice avait consisté à calculer la subvention implicite de couverture de l'exploitant, en extrapolant la prime qu'il paye actuellement. Cette prime était considérée comme une donnée exogène. Le

modèle reposait donc sur l'hypothèse selon laquelle cette prime était à son "juste" niveau. Pour prendre en compte l'éventualité contraire, une analyse de sensibilité a, par ailleurs, été menée sur ce niveau (voir 2.3.2. du chapitre 2). Pour faire écho à cette analyse de sensibilité, l'objectif va consister ici à étudier précisément la justesse du niveau de la prime d'assurance actuelle. Ce niveau est donc considéré ici comme une donnée endogène, que nous allons tenter d'expliquer. Pour ce faire, les différents éléments inclus dans la prime d'assurance commerciale (ou finale) seront analysés (2.2.1.2), avec, en premier lieu, la prime actuarielle (ou indicative) (2.2.1.1).

2.2.1.1. Le calcul de la prime actuarielle : une valeur objective du risque très faible

Etant donné les caractéristiques du risque nucléaire vis-à-vis des critères d'assurabilité, le chapitre 1 a conclu qu'il n'était pas un risque actuariel, et donc qu'il n'était pas un risque assurable. Cependant, avec le montage assuranciel des *pools*, l'assurance de ce risque est permise. Dans ces conditions, comment le *pool* d'assureurs nucléaires détermine-t-il sa prime d'assurance ? Le chapitre 2 a montré, à ce propos, que, le calcul de la prime d'assurance comprend toujours comme composant élémentaire la prime actuarielle. Nous rappelons que cette prime est mesurée à partir de la valeur objective du risque, c'est-à-dire, de l'espérance mathématique des dommages, donnée par l'équation (1) du chapitre 2 :

$$\boldsymbol{P = E(x) = x.p} \qquad (1)$$

P étant la prime d'assurance (réduite à sa valeur actuarielle), ***E(x)*** l'espérance mathématique des dommages, ***x*** le coût d'un accident nucléaire et ***p*** sa probabilité d'occurrence. Ce calcul est le calcul classique effectué par les assureurs pour couvrir les risques standards. Dans le chapitre 2, le débat a porté sur la probabilité d'accident ***p***. Le choix avait été fait de remplacer la probabilité discrète ***p*** par une fonction de densité de probabilité continue ***g(y)***, ***y*** étant le coût du dommage (l'équivalent de ***x***), après transformation log-linéaire de la fonction. Dans un but comparatif, le calcul de la prime actuarielle va suivre ici les deux démarches : une démarche discrète et une démarche continue.

Comme nous le savons, l'exploitant français de production EDF exploite cinquante-huit réacteurs de puissance et a adopté, avec l'accord des pouvoirs publics, un système particulier d'assurance partielle pour couvrir sa RC. Il s'auto-assure pour les premiers 60 millions € sous forme de réserves propres et s'assure auprès d'Assuratome au-delà, à hauteur

de 31 millions €. En vertu du contrat qui les lie, cette couverture de 31 millions € par accident peut être sollicitée au maximum deux fois par site sur une période de trois ans (EDF, 2006a). En échange de cette couverture, EDF paye une prime d'assurance de 6,4 millions €/an TTC pour l'ensemble de son parc nucléaire. De là, en utilisant l'équation (1), les deux calculs suivants sont effectués pour évaluer la prime actuarielle :

(i) Soit, on utilise les probabilités d'accident estimées par les Etudes Probabilistes de Sûreté (EPS) (probabilités de fusion du cœur du réacteur et probabilités conditionnelles de rejets). Le calcul s'appuie alors sur des probabilités discrètes $\boldsymbol{p}$.

(ii) Soit, pour garder une cohérence avec le chapitre 2, on retient comme probabilité d'accident, la probabilité donnée par la fonction de densité $\boldsymbol{g(y)}$ pour des dommages de 31 millions €, soit $\boldsymbol{g}(31)$. Le calcul s'appuie alors sur une distribution continue de probabilités.

Dès lors, ces deux méthodes appliquées à l'équation (1) donnent les résultats suivants (pour l'ensemble des réacteurs $\boldsymbol{n}$ assurés) :

(i) $\boldsymbol{P = E(x) = x.p.n} = 31.(\boldsymbol{p_i}.0{,}81).\boldsymbol{n} + 31.(\boldsymbol{p_i}.0{,}19).\boldsymbol{n} = 31.\boldsymbol{p_i}.58$

$\boldsymbol{p_i}$ étant la probabilité de fusion du cœur du réacteur, $\boldsymbol{i}$ = 1,…,3 avec $\boldsymbol{p_i}$= (10^{-6} ; 10^{-5} ; 10^{-4}) par réacteur par an (IRSN/EDF, 1990 ; USNRC, 1990 ; AEN/OCDE, 1994). Pour la France, $\boldsymbol{n}$ = 58. Par ce calcul, l'assureur traduit le fait qu'il risque de perdre 31 millions € si un accident mineur survient, avec une probabilité $\boldsymbol{p_i}$.0,81 (huit cas sur dix), et de les perdre si un accident majeur se produit, avec une probabilité $\boldsymbol{p_i}$.0,19 (deux cas sur dix)[181]. Comme l'analyse du chapitre 2 l'avait souligné, le second terme de (i) exprime le fait que, même dans le cas d'un accident majeur (coûtant largement plus que le plafond de RC), l'assureur nucléaire continuera de payer 31 millions €. Selon les valeurs estimées par les EPS pour $\boldsymbol{p_i}$, la prime $\boldsymbol{P}$ est égale aux valeurs suivantes (en euros par an) :

Probabilité de fusion du cœur du réacteur $\boldsymbol{p_i}$	$\boldsymbol{P=E(x)}$ pour $\boldsymbol{n}$ = 58
10^{-4}	179 800
10^{-5}	17 980
10^{-6}	1 798

Tableau 38. Prime d'assurance actuarielle pour la totalité du parc nucléaire français (première méthode)

[181] Rappelons que 0,81 et 0,19 sont les probabilités conditionnelles présentées dans le chapitre 1, notées $\boldsymbol{p_j}$.

Ainsi, avec les probabilités estimées par les EPS, la prime d'assurance actuarielle pour la totalité du parc nucléaire français serait comprise entre 1798€/an et 179 800€/an. Rappelons que la probabilité $p_3 = 10^{-6}$ concerne surtout les réacteurs nucléaires de troisième génération (nouveaux réacteurs en construction) comme l'EPR. Les probabilités p_1 et p_2 concernent les réacteurs actuellement en fonctionnement (première et deuxième génération). La majorité des réacteurs en exploitation étant aujourd'hui des réacteurs de deuxième génération, c'est la probabilité $p_2 = 10^{-5}$ qui est la plus susceptible de refléter la sûreté actuelle des réacteurs.

(ii) $P = E(x) = x.p.n = 31.g(31).58$

Par ce calcul, on considère que la probabilité de perdre 31 millions € est invariable quelque soit l'ampleur de l'accident qui survient. En reprenant la fonction $g(y)$ du chapitre 2 (équation (8), p.130), on obtient selon les scénarios qui avaient été retenus, les valeurs de $g(31)$ suivantes :

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	0,00018	0,00016	0,00039	0,00036	0,00076	0,00071
D_2 = 40000	0,00012	0,00011	0,00024	0,00022	0,00026	0,00025
D_3 = 70000	0,0001	0,000093	0,00019	0,00018	0,00024	0,00022
D_4 = 100000	0,00009	0,000086	0,00018	0,00016	0,0002	0,00019

Tableau 39. Probabilité d'un accident nucléaire coûtant 31 millions € selon la fonction g(y) (/réacteur/an)

La probabilité $g(31)$ augmente avec la baisse de p_i (de 10^{-4} à 10^{-6}) car, conformément à l'allure de la courbe log-logistique (Graphique 5, p.130), l'écart entre les probabilités d'accidents mineurs et les probabilités d'accidents majeurs se creuse. La courbe s'écrase alors davantage sur l'axe des ordonnées et s'affine à droite, c'est-à-dire que les probabilités des accidents mineurs (dont les dommages de 31 millions € font partie), représentés sur la partie gauche de la courbe, augmentent quand les probabilités d'accidents majeurs diminuent. De la même façon, $g(31)$ baisse lorsque les dommages majeurs D_i augmentent puisque, dans ce cas, les dommages de 31 millions € deviennent relativement de plus en plus négligeables par rapport à des dommages majeurs de plus en plus élevés. La courbe de $g(y)$ s'aplatit donc à gauche et s'étire à droite.

Intégrées dans l'équation (ii), les valeurs de la probabilité $g(31)$ donnent une prime actuarielle alors égale aux montants suivants (en euros par an):

	$p_1 = 10^{-4}$; $p'_2 = 0,19$		$p_2 = 10^{-5}$; $p'_2 = 0,19$		$p_3 = 10^{-6}$; $p'_2 = 0,19$	
Accidents majeurs (millions €)	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%	R_1=5%	R_2=10%
D_1 = 10000	321 000	310 000	700 000	650 000	1 370 000	1 290 000
D_2 = 40000	210 000	190 000	430 000	400 000	470 000	460 000
D_3 = 70000	180 000	170 000	350 000	330 000	430 000	400 000
D_4 = 100000	170 000	160 000	320 000	290 000	370 000	350 000

Tableau 40. Prime d'assurance actuarielle pour la totalité du parc nucléaire français (seconde méthode)

Logiquement, les montants de la prime actuarielle varie dans le même sens que $g(31)$ avec p_i et D_i. Calculée ainsi, la prime actuarielle serait comprise entre 160 000€/an et 1,37 millions €/an pour tout le parc nucléaire français. Ces montants sont beaucoup plus élevés qu'avec la première méthode. Cette différence vient du fait qu'avec la fonction log-logistique $g(y)$, la probabilité d'un accident coûtant 31 millions € (donc peu) est considérée comme plus élevée (très à gauche sur la courbe de le Graphique 5, p.130) que celle des autres accidents (coûtant plus de 31 millions €). Au contraire, dans la première méthode, la probabilité d'accident utilisée ($p_i.p_j$) ne correspond pas exactement à des dommages de 31 millions € mais à la survenance d'un accident (mineur ou majeur). Les probabilités $p_i.p_j$ sont par conséquent bien inférieures à $g(31)$ (comme le confirme, par ailleurs, le Tableau 39).

Pour la suite de l'analyse, et pour simplifier, on retiendra, pour la première méthode, seulement la prime actuarielle correspondant à la probabilité de fusion du cœur 10^{-5} (soit 17 980€/an) et, pour la seconde, seulement la prime moyenne pour la même probabilité (soit 433 750€).

Dès lors, nous constatons immédiatement combien, calculée à partir de sa valeur actuarielle, la prime d'assurance nucléaire est très en dessous du montant de la prime actuellement payé par EDF. La différence entre la prime actuarielle et la prime commerciale est en effet très grande. Par rapport à la méthode (i), elle s'élève à 6,38 millions €/an. Par rapport à la méthode (ii), elle s'élève à 5,96 millions €/an. Par conséquent, la prime actuellement payée par EDF est respectivement 355 fois et quinze fois plus élevée que la valeur objective du risque. Cependant, conclure que la prime d'assurance nucléaire actuelle est excessive en France serait trop hâtif. Avant cela, il faut d'abord examiner les autres facteurs susceptibles d'expliquer un tel écart.

2.2.1.2. Le calcul de la prime commerciale : un coût de couverture élevé

Outre la prime actuarielle, la prime d'assurance commerciale peut comprendre jusqu'à quatre autres éléments. Le chapitre 2 a fait mention de deux d'entre eux : une prime pour aversion au risque (ou à l'ambiguïté) et les coûts de gestion de l'assureur. Sont rajoutés ici également les taxes et le profit de l'assureur.

L'aversion au risque a été définie comme la réticence d'un individu à accepter une transaction dont le résultat est incertain plutôt qu'une transaction dont le résultat est sûr mais moins élevé (Pratt, 1964; Arrow, 1965) et l'aversion à l'ambiguïté comme une attitude de préférence pour les risques connus par rapport aux risques inconnus (Ellsberg, 1961; Hogarth et Kunreuther, 1985, Gilboa, 1987 ; Kunreuther *et alii*, 1993). Ainsi, comme le modèle du chapitre 2 l'a montré, lorsqu'il fait face à un risque catastrophique et/ou imprévisible, l'assureur est incité à charger la prime actuarielle d'un coût supplémentaire : une prime de risque. Cette prime de risque est généralement proportionnelle à l'espérance mathématique des pertes $\boldsymbol{E(x)}$. Reprenant la notation du chapitre 2, elle est alors égale à : $\boldsymbol{R = r.\ E(x)}$ avec $0 < \boldsymbol{r} < 1$, $\boldsymbol{r}$ étant le coefficient de prime de risque. Ce coefficient est soumis à la subjectivité de l'assureur et varie donc selon son estimation propre.

De la même manière, les coûts de gestion de l'assureur (*loading costs*) ont été définis comme les coûts relatifs à son activité (charges administratives, coût du personnel, etc.). Le chapitre 2 a montré que ces coûts sont généralement estimés à 30% de la valeur objective du risque (Denenberg, 1973 ; Dubin and Rothwell, 1990 ; Faure et Vanden Bergh, 1995 ; Heyes and Liston-Heyes, 1998, 2000b). Reprenant la notation déjà utilisée, on a $\boldsymbol{CG = c.E(x)}$ avec $\boldsymbol{c} = 0{,}3$.

Ensuite, bien que les contrats d'assurance ne soient pas soumis à la TVA (Taxe sur la Valeur Ajoutée), en tout cas en France, ils sont souvent affectés par d'autres taxes. Ils peuvent être taxés pour deux raisons. Premièrement, il arrive que l'assureur n'ait qu'un rôle intermédiaire, celui de collecter les primes pour différents organismes. Ces organismes prélèvent alors une taxe sur tous les contrats de l'assureur. C'est, par exemple, le cas de l'assurance santé. Deuxièmement, l'Etat impose des taxes sur les contrats d'assurance pour toute sorte de garanties. Par exemple, en France, les contrats d'assurance (excepté l'assurance-

vie) sont affectés d'une taxe spécifique, la "taxe sur les Conventions d'assurance"[182]. A cette taxe, des taxes supplémentaires parafiscales sont également prélevées selon les secteurs. Cette dimension fiscale dans la prime d'assurance est notée $\boldsymbol{H = h.E(x)}$, $0 < \boldsymbol{h} < 1$, $\boldsymbol{h}$ étant le coefficient d'imposition fiscale. Ce coefficient varie selon la garantie assurée. En ce qui concerne l'assurance nucléaire, pour les raisons invoquées plus haut, le contrat n'est pas accessible au public et le niveau de $\boldsymbol{h}$ n'est donc pas connu précisément.

Enfin, l'assureur est un professionnel qui exerce également son activité dans un but lucratif. Suivant Kunreuther (1997), Faure et Fenn (1999) affirment que "*an event is insurable if insurers can set a premium that both reflects the risk and enables them to make a profit*"[183] (p.491). Ainsi, l'assureur va incorporer dans sa prime une marge bénéficiaire. Cette marge est alors notée $\boldsymbol{B=b.E(x)}$, avec $0 < \boldsymbol{b} < 1$ le coefficient de profit retiré sur chaque contrat. Ce profit est laissé au libre choix de l'assureur et peut donc varier.

Si ces quatre éléments supplémentaires sont intégrés à l'équation (1), la prime d'assurance commerciale (finale) est alors égale à $\boldsymbol{P = (1 + r + c + h + b).E(x)}$, soit :

$$\text{(i) } \boldsymbol{P = (1 + r + c + h + b).}[31.\boldsymbol{p_i}.58] \qquad (23)$$

$$\text{(ii) } \boldsymbol{P = (1 + r + c + h + b).}[31.\boldsymbol{g(}31\boldsymbol{)}.58] \qquad (24)$$

Ainsi, l'écart constaté entre la prime actuarielle et la prime commerciale est sans doute imputable aux autres éléments inclus dans la prime d'assurance. Une telle différence peut-elle provenir d'une importante prime d'aversion au risque ? De coûts de gestion excessivement élevés ? D'un fort niveau d'imposition fiscale ? D'un important profit capté par l'assureur ? Ou alors d'une combinaison de ces différents facteurs ? Etant donné l'opacité du marché de l'assurance, il est difficile de dire avec exactitude lequel de ces facteurs explicatifs pèse le plus dans la prime française. Néanmoins, eu égard aux caractéristiques spécifiques du risque nucléaire et à l'organisation du marché de l'assurance nucléaire en France, les éléments $\boldsymbol{R}$, $\boldsymbol{CG}$, $\boldsymbol{H}$ et/ou $\boldsymbol{B}$ sont susceptibles de peser lourdement dans le montant de la prime commerciale. La première explication proposée, quant au poids de ces éléments, est un argument en termes de structure de marché.

[182] Cette taxe est calculée selon différents taux en fonction des types de garantie et de l'activité des assurés. Par exemple, l'assurance automobile est taxée à 18% pour ce qui concerne la RC et les dommages, l'assurance incendie pour les personnes privées à 30% et les autres contrats relatifs à l'assurance habitation sont taxés à hauteur de 9%. L'immobilier et les autres biens matériels des industriels, commerçants et artisans sont taxés à 7% comme leurs contrats de pertes d'exploitation (Lambert, 1998/1999).

[183] *"Un événement est assurable si les assureurs peuvent fixer une prime qui à la fois reflète le risque et leur permet de capter un profit"*.

2.2.2. Une prime monopolistique excessive ?

Il est certain que sur un marché de l'assurance concurrentiel, l'assureur qui aurait à supporter des coûts internes très lourds ne pourrait pas survivre très longtemps. De plus, il ne pourrait pas tirer un profit trop élevé de son activité en exigeant une prime excessive sans perdre rapidement ses clients et sa compétitivité. Ainsi, des coûts de gestion bien supérieurs à 30% ou un niveau très élevé de profit ne sont soutenables que sur un marché, sinon monopolistique, du moins non concurrentiel. Etant donné que le marché de l'assurance nucléaire est monopolistique, le niveau actuel de la prime d'assurance nucléaire peut alors être imputé à la structure du marché.

Savoir si l'écart entre prime commerciale et prime actuarielle est imputable à la structure du marché nécessite au préalable d'étudier la question suivante : le marché de l'assurance nucléaire est-il contestable ? En d'autres termes, les *pools* d'assurance nucléaire sont-ils des monopoles naturels ? S'ils le sont, alors le niveau actuel de la prime est légitime.

Selon la théorie des marchés contestables (Baumol *et alii*, 1982), un marché est contestable si la concurrence y est *possible*. Cette possibilité implique que l'entrée et la sortie d'une entreprise concurrente sur le marché soient libres et gratuites et qu'il existe des concurrents potentiels. Cette "menace" potentielle garantit les prix concurrentiels, même si le marché est en réalité dominé par une seule entreprise. De là, on dit que cette entreprise est un monopole "naturel" si, malgré l'absence de barrières à l'entrée sur le marché, elle continue de le dominer (Sharkey, 1982 ; Watterson, 1988). Cette position est due à différents facteurs : la "supériorité économique" de l'entreprise, son avantage de primo-arrivant sur le marché ou encore l'existence de rendements croissants[184]. Toutefois, un monopole naturel est, par définition, temporaire, puisqu'il est toujours potentiellement menacé par la concurrence. Il s'oppose à un monopole "réglementé" qui doit sa position avantageuse à un privilège octroyé par l'Etat (monopole public, protection par un brevet…). Dès lors, les *pools* d'assurance nucléaire, qui sont les seuls offreurs sur leur marché, peuvent-ils être considérés comme des monopoles naturels ?

La réponse à cette question est complexe. En effet, d'une part, ils peuvent être considérés comme tels car la capacité financière des assureurs individuels serait, sans aucun

[184] Pour un approfondissement de ces théories, se reporter, entre autres, à Baumol *et alii* (1982), Sharkey (1982) et Watterson (1988).

doute, insuffisante pour réparer l'intégralité des dommages d'un accident, en particulier majeur[185]. De plus, l'échange d'information sur le risque nucléaire est sans doute la seule manière pour les assureurs de pouvoir le mesurer. De ce point de vue, la concentration de l'offre est donc préférable à l'atomicité. On retrouve alors l'argument avancé plus haut, selon lequel, il y a une opposition de nature entre assurabilité du risque nucléaire et concurrence du marché de l'assurance.

D'autre part, cependant, les conditions dans lesquelles les *pools* assurent actuellement le risque nucléaire remettent en cause cette justification. D'abord, les *pools* d'assurance nucléaire ne couvrent pas l'intégralité des dommages d'un accident nucléaire mais seulement les dommages à hauteur du plafond légal de RC des exploitants. En conséquence, pour des plafonds de 91 millions € (actuel) et 700 millions € (futur), on peut imaginer aisément que le marché soit contestable et que l'offre pourrait être concurrentielle, au moins oligopolistique. Cette déconcentration de l'offre permettrait de réduire les primes. La concentration des assureurs serait sans doute préférable, uniquement dans le cas où le plafond de RC serait supprimé. De plus, la libre entrée sur le marché de l'assurance nucléaire n'est pas vérifiée, du fait de la barrière informationnelle que les *pools* mettent en place en termes d'information. Enfin, au regard de son niveau actuel élevé, on ne peut être sûr que la prime d'assurance soit à son niveau concurrentiel.

Après cette analyse, on ne peut pas affirmer que les *pools* d'assurance nucléaire soient des monopoles naturels. Sur le curseur de la réglementation, ils se placeraient plutôt entre les monopoles naturels et les monopoles réglementés. Ils sont seuls sur le marché non pas parce qu'il n'y a pas d'alternative, ni parce que l'Etat interdit tout autre forme d'assurance. Ils sont seuls car l'environnement institutionnel et juridique relatif à la couverture du risque nucléaire leur a procuré cet avantage. Une fois cet avantage acquis dans les années 1960, l'activité de *lobbying* des *pools* a permis, depuis, sa conservation.

Il est donc tout à fait envisageable que l'écart entre prime actuarielle et prime commerciale soit imputable à cette position privilégiée, voire à un abus de position dominante. Comme l'ont montré Faure et Vanden Bergh (1990), il est alors possible pour l'assureur monopolistique de fixer sa prime comme il l'entend. Ainsi, il peut l'alourdir de manière à capter un profit qui prend alors la forme d'une rente. La seule pression

[185] Le chapitre 1 a montré, à cet égard, que l'estimation de ces dommages était comprise entre 10 milliards € et 100 milliards €.

concurrentielle qui pourrait avoir un impact sur ce profit viendrait de l'existence de techniques alternatives à l'assurance pour couvrir le risque nucléaire. Or, actuellement, excepté la mutuelle ELINI qui est encore peu implantée sur le marché, ces alternatives n'existent pas. Dans ce cas, la variable ***b*** des équations (23) et (24) peut être très élevée. Si les autres variables explicatives sont isolées (***r***, ***c*** et ***h*** = 0), le profit pourrait expliquer à lui seul le niveau de la prime actuelle si ***b*** était égal à 355, soit s'il représentait 35 395% de la prime actuarielle ! Auquel cas, cette énorme rente serait très défavorable à l'exploitant et inefficace pour la couverture du risque nucléaire en général. Le problème de la recherche de rente dans une situation monopolistique est bien connu et a été largement analysé par les auteurs de l'école du *Public Choice* (Tullock, 1967, 1980 ; Krueger, 1973). Toutefois, concernant la France, nous avons vu plus haut que le *pool* Assuratome est un GIE. Or, conformément à l'Ordonnance française du 23 septembre 1967 précitée, un GIE ne peut réaliser de bénéfices pour lui-même. Dans ce cas, soit le *pool* est dans l'illégalité, soit l'explication de l'écart entre prime actuarielle et prime commerciale se trouve ailleurs.

Un autre argument de l'école du *Public Choice* concerne les coûts de gestion de l'assureur comme une autre raison possible au niveau actuel de prime. Les tenants de cette école avancent qu'au sein d'un monopole, la gestion est souvent inefficace et les gaspillages importants du fait de l'inexistence des contraintes issues de la concurrence. Comme l'a montré Niskanen (1971), les coûts d'un marché monopolistique (réglementé), analysé comme une bureaucratie, sont substantiellement plus élevés que les coûts d'un marché atomisé. De là, si cette fois les variables ***r***, ***h*** et ***b*** sont isolées, les coûts de gestion sont la cause du niveau important de la prime d'assurance actuelle, si ***c*** = 355. Dans le cadre d'un monopole, cette part est théoriquement possible mais on imagine difficilement comment l'assureur pourrait survivre dans ces conditions.

Dès lors, si la marge bénéficiaire (***b***) ou les coûts de gestion (***c***) de l'assureur pèsent dans la prime d'assurance nucléaire davantage que sur un marché concurrentiel, il semble néanmoins difficile qu'ils puissent expliquer, à eux seuls, son niveau.

Une troisième explication en termes de structure de marché peut alors être avancée. Elle concerne l'ampleur des taxes qui peuvent être imposées sur la prime d'assurance. En effet, si le *pool* d'assurance nucléaire est un monopole, l'exploitant EDF l'est aussi. Bien que son ouverture à la concurrence ait commencé, EDF demeure encore un monopole majoritairement public et donc encore la propriété de l'Etat français. Dans cette situation, il est donc envisageable que l'Etat récupère des fonds à travers les recettes fiscales, en imposant des taxes

sur la prime d'assurance nucléaire payée par EDF, et donc indirectement par lui-même. Ce transfert de flux financier pourrait alors être rajouté, comme élément d'explication, à la Figure 14 (p.207, flèche 2). Ce troisième argument impliquerait alors la variable ***h*** des équations (23) et (24).

Pour conclure, étant donné la structure monopolistique du marché de l'assurance nucléaire, il est possible que les variables ***c***, ***b*** et ***h*** jouent un rôle important dans l'écart entre prime actuarielle et prime commerciale. Dans le chapitre 2, seuls la prime pour aversion au risque et les coûts de gestion de l'assureur avaient été retenus comme composants de la prime d'assurance. Ainsi, au regard de la présente analyse, on peut imaginer que la prime ***P*** utilisée dans le système d'équations (16) était certainement surévaluée. En enlevant aussi le profit et les taxes, cette prime aurait était plus faible et les montants de subvention également. C'est pour parer à cette éventualité qu'une analyse de sensibilité sur le niveau de la prime d'assurance avait été par ailleurs menée (parapgraphe 2.3.2 du chapitre 2).

La dernière explication proposée au niveau actuel de la prime d'assurance nucléaire est un argument en termes de nature du risque.

2.2.3. Risque non diversifiable et prime excessive : le prix à payer ?

Face au risque nucléaire, les assureurs veulent se prémunir contre deux problèmes. Le premier, déjà mentionné, est celui de la sous-estimation possible des dommages et/ou de la probabilité d'accident, due aux incertitudes relatives au risque. Le second vient du fait que le risque nucléaire est un risque non diversifiable.

Un risque diversifiable est un risque qui peut être éliminé par l'assureur en investissant dans de nombreux projets différents, en détenant des actions de nombreuses compagnies différentes ou en diversifiant son portefeuille de risques (Vernimmen, 2005). De cette manière, l'assureur répartit ses pertes sur l'ensemble de ses clients et sur l'ensemble des risques qu'il couvre (comme pour le risque incendie par exemple). Or, le risque nucléaire n'est pas un risque diversifiable. En effet, les *pools* d'assurance sont spécialisés dans le risque nucléaire. Ils ne peuvent donc pas diversifier leur portefeuille, par exemple en assurant d'autres risques plus fréquents et moins graves, pour compenser les dommages nucléaires. De plus, l'exploitant de production (l'assuré) est unique. Le *pool* ne peut donc pas répartir ses pertes sur un groupe d'assurés. Dans le cas du risque nucléaire, l'assureur fait face à une

réalisation du risque binaire : soit il y a un accident, soit il n'y en a pas. De surcroît, si un accident se produit, l'assureur est sûr qu'il devra payer les réparations, du fait de la RC objective de l'exploitant. Par conséquent, il est envisageable qu'il inclût, dans la prime d'assurance, une forte prime de risque. La variable ***r*** doit donc peser lourdement dans l'appréciation du risque par l'assureur et joue probablement un rôle significatif dans la détermination de ***P***.

Du fait de la nature non diversifiable du risque nucléaire, le *pool* d'assureurs peut même considérer que l'espérance mathématique des pertes, incluse dans la prime d'assurance, ait peu de pouvoir indicatif sur ses propres pertes. Dans ces conditions, il est envisageable qu'au lieu de déterminer sa prime en fonction de la valeur actuarielle du risque, il exige de l'exploitant de payer un pourcentage plus ou moins élevé des dommages couverts. Ce pourcentage est d'autant plus élevé que les assureurs ne peuvent pas diversifier le risque. Cette "tarification" particulière de l'assurance permet au *pool*, qui est seul à couvrir le risque nucléaire, d'asseoir sa solvabilité, en faisant payer à l'exploitant la valeur des dommages couverts sur une courte période. Pour le cas français, par exemple, les dommages assurés sont ainsi payés par l'exploitant en cinq ans (6,4 millions € x $5 \approx 31$ millions €). Le pourcentage des dommages payés (la quote-part annuelle) s'élève, dans ce cas, à 20%. Le niveau de ce pourcentage relève alors de l'appréciation subjective des assureurs. Cette pratique est surtout utilisée pour la couverture des risques catastrophiques qui peuvent présenter une dimension systèmique. On parle de "risque systémique" lorsqu'un événement soudain et généralement inattendu (comme un accident nucléaire) secoue un secteur industriel ou financier. Il se produit lorsque un acteur du secteur (le *pool* d'assurance nucléaire par exemple) se trouve dans la difficulté ou l'incapacité de faire face à ses engagements (l'indemnisation des victimes) entraînant pour d'autres la difficulté ou l'impossibilité de faire face à leurs propres engagements (l'exploitant ou l'Etat dans lequel s'est produit l'accident). Un effet "boule de neige" se produit alors, mettant en péril tout le secteur (Faure, 2007b). La nature non diversifiable du risque nucléaire est donc une autre explication possible au niveau actuel de la prime d'assurance.

L'écart entre la prime actuarielle et la prime commerciale peut donc s'expliquer par la structure du marché de l'assurance et/ou par la nature spécifique du risque nucléaire. Ces deux explications peuvent évidemment être complémentaires les unes aux autres. Bien qu'aucune réponse stricte et distincte ne puisse être apportée, ces différents éléments d'explications permettent de mieux comprendre comment il est possible que la prime d'assurance

actuellement payée en France (et plus généralement en Europe) pour couvrir le risque nucléaire puisse être aussi élevée, et pourquoi elle ne correspond pas à sa valeur actuarielle. A notre sens, la raison en est une combinaison de facteurs liés à la structure monopolistique du marché de l'assurance et à la nature même du risque.

L'entrée en vigueur des Protocoles de modification des Conventions de Paris et de Bruxelles de 2004 est en cours, et la loi française du 31 octobre 1968 a récemment fait l'objet d'une nouvelle modification le 13 juin 2006 dans cette perspective (Annexe 4). Etant donné que son plafond de RC va prochainement augmenter, EDF sera tenu d'ajuster sa couverture entre réserves et recours au *pool*. Ainsi, l'examen du niveau de sa prime actuelle a aussi d'importantes implications pour ses choix assuranciels futurs. Si l'assurance actuelle est si coûteuse, on est en droit de se demander comment elle pourra remplir les nouvelles obligations de l'exploitant et quelle sera sa place dans sa future combinaison assurancielle.

3. Le financement des Protocoles de 2004 : vers une nouvelle combinaison assurancielle en France ?

Une question importante consiste maintenant à examiner comment les exploitants nucléaires parviendront à financer leur nouvelle limite de responsabilité de 700 millions €, mise en place par les Protocoles de modification des Conventions de Paris et de Bruxelles en 2004. Ce relèvement est plus que significatif pour l'ensemble des pays membres des Conventions car ils bénéficient tous actuellement d'un plafond de responsabilité très inférieur à 700 millions €. Leur plafond se situe, en effet, entre 5,8 millions € et 349 millions € (Graphique 1, p.59). Dès lors, quels seront les mécanismes de couverture utilisés par les exploitants de ces pays pour couvrir leur nouveau plafond de responsabilité ? Auront-ils recours davantage à leur *pool* national d'assurance malgré leurs coûts ? Ou opteront-ils plutôt pour des alternatives ? Nous avons vu que les alternatives en la matière étaient quasi-inexistantes. La mutuelle européenne ELINI en est une mais est encore jeune et ne fait pas encore véritablement concurrence aux *pools*. Les réserves financières en sont une autre mais seuls les gros exploitants comme EDF peuvent se les permettre. En l'occurrence, cette situation est spécifique à la France car aucun autre exploitant européen n'a adopté cette solution. Ils ont généralement exclusivement recours à leur *pool* national d'assurance.

Pour étudier la question de la couverture du nouveau plafond de responsabilité par les exploitants, le cas français est à nouveau pris comme exemple illustratif ici. Quel sera alors le

choix assuranciel d'EDF pour couvrir un plafond de responsabilité sept fois plus élevé que son plafond actuel ? A ce propos, la Direction d'EDF reconnaît que l'entreprise devra repenser sa combinaison assurancielle : "*A compter de la mise en application de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 (…), (qui a intégré les Protocoles portant modification des Conventions de Paris et de Bruxelles), EDF sera tenue d'ajuster ses couvertures d'assurance de façon à respecter le nouveau plafond de la garantie d'indemnisation (…). A cette fin, EDF recherchera dans ce nouveau cadre législatif une combinaison optimale entre le marché de l'assurance (pools nucléaires) et des options alternatives (réassurance, mutuelles, etc.)"* (EDF, 2006a, p.15). Etant donnée sa couverture binaire actuelle, on peut donc envisager, qu'avant d'avoir recours à des alternatives, EDF va chercher en premier lieu à revoir sa combinaison (réserves ; assurance) de sorte de la rendre la plus efficace et la moins coûteuse possible. Si Assuratome était capable de mobiliser suffisamment de capitaux pour couvrir 700 millions €, EDF gagnerait-il à couvrir son plafond seulement à travers le *pool* ? Sa couverture ne serait-elle pas moins coûteuse par un recours exclusif à ses réserves ? Pour répondre à ces questions, les coûts respectifs des deux instruments doivent être comparés. Le coût de l'assurance vient d'être analysé. En premier lieu, la présente section a donc pour objectif d'examiner le coût des réserves d'EDF (3.1). Cet examen permettra de comparer la capacité respective des deux instruments à répondre au mieux à la couverture du nouveau plafond de RCN. De là, il est montré que leur combinaison actuelle devra être reconsidérée par l'exploitant français pour minimiser ses coûts de couverture (3.2).

3.1. Le coût des réserves de l'exploitant nucléaire français

Avant d'avoir recours à l'assurance en excédent de perte, EDF couvre une première partie de sa RC avec ses propres réserves financières. Les réserves présentent l'indéniable avantage, sur les primes d'assurance, d'être récupérables si aucun accident ne survient sur la période considérée. Elles sont, de ce fait, souvent considérées par les exploitants comme moins coûteuses. En effet, les primes d'assurance sont payées chaque année à l'assureur et représentent des coûts fixes. Elles ne peuvent donc pas, par définition, être recouvrées par les exploitants, même en cas de cessation d'activité de leur part ou de non réalisation du risque. Après paiement, les primes appartiennent à l'assureur et sont perdues. Au contraire, les réserves restent la propriété de l'exploitant jusqu'à ce qu'un accident se produise. Dans ce cas, elles seront mobilisées pour réparer les dommages et indemniser les victimes. Ainsi, il est tentant de conclure que les réserves financières ne coûtent rien à l'exploitant, tant qu'il n'y a

pas d'accident. Cependant, cette assertion est fausse. Même en cas de non survenance d'un accident nucléaire, la constitution de réserves est coûteuse pour l'exploitant. Quelle est la nature de ce coût ? L'analyse suivante analyse, dans un premier temps, le statut très particulier de ces réserves (3.1.1) puis, évalue leur coût pour l'exploitant français (3.1.2).

3.1.1. Les réserves de propre assureur : des exigences comptables strictes

Lorsqu'une entreprise fait le choix de s'auto-assurer à l'aide de ses propres réserves, elle doit se soumettre à des règles comptables et financières très strictes. En effet, ces réserves ont un statut très particulier. Jusqu'en 2002, elles avaient le statut de "provisions". Traditionnellement, les provisions liés à l'activité d'une entreprise sont considérées, dans sa comptabilité, comme des "provisions pour risques et charges". Selon l'IASB[186] (*International Accounting Standards Board*) et ses normes comptables IFRS (*International Financial Reporting Standards*), ce type de provisions est destiné à couvrir des risques et charges à plus ou moins long terme. A ce titre, elles correspondent à une augmentation du passif exigible selon la réalisation ou non du risque. Comme le montre le tableau suivant, le passif comptable d'une entreprise correspond à l'ensemble de ses engagements sur une année d'exercice (capitaux propres, provisions et dettes), au contraire de son actif comptable qui représente ses emplois et avoirs (immobilisations, stocks, créances, etc.).

[186] L'IASB est une organisation indépendante en charge de mettre en place des règles de comptabilité au niveau international.

<table>
<tr><th>ACTIF</th><th>PASSIF</th></tr>
<tr><td rowspan="2">ACTIF IMMOBILISE

-Immobilisations incorporelles (recherche et développement, brevets, fonds commercial…)
-Immobilisations corporelles (terrains, bâtiments)
-Immobilisations financières (prêts, participations)</td><td>CAPITAUX PROPRES (passif interne)

-Capital (capital social, primes liées au capital social, …)
-Réserves
(dont "réserves de propre assureur") (depuis 2002)
-Report à nouveau
-Résultat net de l'exercice

-Subventions d'investissement
-Provisions réglementées (amortissements dérogatoires...)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">PASSIF EXIGIBLE (passif externe)
PROVISIONS
-Provisions pour risques et charges
(dont "provisions de propre assureur") (avant 2002)
-Provisions pour dépréciation d'actif[187]</td></tr>
<tr><td>ACTIF CIRCULANT

-Stocks et en-cours
-Créances
-Disponibilités (placements)</td><td>DETTES
-Dettes financières (emprunts…)
-Dettes d'exploitation (impôts…)
-Dettes diverses (fournisseurs…)</td></tr>
</table>

Tableau 41. Bilan économique simplifié d'une entreprise

Le bilan comptable d'une entreprise est un document de synthèse qui est établi au minimum chaque fin d'année. Il donne un aperçu du patrimoine de l'entreprise et de sa structure financière. Il est composé du passif (qui représente l'origine des ressources de l'entreprise) et de l'actif (qui représente les emplois des ressources de l'entreprise). La confrontation entre le total de l'actif et le total du passif permet de dégager le résultat net de l'exercice.

Pour avoir ce statut, les "provisions pour risques et charges" doivent présenter un caractère probable mais incertain. En d'autres termes, elles doivent traduire l'existence de risques de débours prévisibles à la clôture de l'exercice mais comportant un élément d'incertitude quant à leur montant ou leur réalisation (EDF, 2004b). Ces provisions sont constituées à partir des capitaux propres de l'entreprise. Les capitaux propres (ou fonds propres) correspondent à ses ressources stables. Ils sont composés du capital social (ressources financières apportées initialement par les actionnaires au moment de la création de l'entreprise), des réserves et du report à nouveau (cumul des bénéfices des années antérieures réinvesti dans l'entreprise, c'est-à-dire, ni distribués aux actionnaires, ni affectés en réserves). Puisqu'il a fait le choix de s'auto-assurer pour couvrir une partie de sa RC à hauteur de 60 millions €, EDF avait donc pour obligation, jusqu'en 2002, de constituer une provision égale à

[187] Les provisions pour dépréciation d'actif constatent une dépréciation de la valeur du patrimoine de l'entreprise liée à la dépréciation ou la perte prévisible d'un élément d'actif. En France, ces provisions apparaissent souvent à l'actif du Bilan dans une colonne soustractive mais cette disposition est loin d'être universelle.

ce montant. Cette provision était inscrite à son passif externe et exigible à tout moment. Enregistrée comme "provision de propre assureur" (compte 1516 de l'ancien Plan Comptable Général français), elle entrait alors dans la catégorie des dettes provisionnées puisqu'elle concernait une obligation à l'égard des tiers. Contrairement aux autres provisions, elle n'était pas déductible d'impôt[188].

Cependant, en 2002, le régime comptable relatif à la constitution de ce type de provisions a changé. En effet, les règles relatives aux passifs en vigueur en France résultent du règlement CRC (Comité de la Réglementation Comptable) n°2000-06 du 7 décembre 2000, qui a modifié le Plan Comptable Général sur cet aspect. Applicables dans les comptes des exercices ouverts à compter du 1er janvier 2002, les nouvelles dispositions excluent désormais la possibilité pour les entreprises d'enregistrer des provisions de propre assureur (CRC, 2000 ; AMF, 2001). Le principal changement réside dans une définition plus rigoureuse et plus précise des éléments du passif externe. Antérieurement, un passif était défini comme *"un élément du patrimoine ayant une valeur négative pour l'entreprise"* (…). Cette définition très large avait ouvert la porte à bien des dérives. Désormais, cette définition est complétée par *"une obligation de l'entreprise à l'égard d'un tiers dont il est probable ou certain qu'elle provoquera une sortie de ressources au bénéfice de ce tiers, sans contrepartie au moins équivalente attendue de celui-ci"* (…). Ces précisions complémentaires ont parfois contraint les entreprises à opérer un sérieux remaniement du passif, principalement en écartant les "provisions pour risques et charges" ne répondant plus aux conditions cumulatives prévues dans cette nouvelle définition. C'est précisément le cas des "provisions de propre assureur" qui ne concernent qu'un risque éventuel. Désormais, les "provisions de propre assureur", figurant au bilan d'ouverture du changement de méthode comptable, doivent être reprises par le crédit d'un compte de capitaux propres en application de l'article 314-1 du Règlement CRC. Par cette opération, les provisions sont désormais considérées comme des réserves, au sens strict, et s'enregistrent comme "réserves de propre assureur" (compte 10681 du nouveau Plan Comptable Général). L'ouverture du compte 10681 est soumise à l'autorisation expresse et préalable du bureau D4 de la direction de la comptabilité publique.

Les réserves sont un élément des capitaux propres de l'entreprise et sont constituées comme marges de sécurité financière (encadré 5).

[188] Par deux arrêts du 9 avril 1956 (n°34376 et 25244), le Conseil d'Etat français est revenu sur la déductibilité des provisions de propre assureur considérant que, ne répondant pas à la définition de l'article 39-1-5 du Code général des impôts, dans la mesure où les risques qu'elles ont pour objet de couvrir sont purement éventuels et qu'ils ne présentent, à la clôture de chaque exercice, aucun caractère de probabilité, les provisions de propre assureur ne sauraient venir en déduction du résultat comptable.

Encadré 5. Extrait des Comptes de Capitaux du Nouveau Plan Comptable Général français

1. Comptes de capitaux
10. Capital et réserves

101. Capital
1011 - Capital souscrit - non appelé
1012 - Capital souscrit - appelé, non versé
1013 - Capital souscrit - appelé, versé
10131 - Capital non amorti
10132 - Capital amorti
1018 - Capital souscrit soumis à des réglementations particulières

104. Primes liées au capital social
1041 - Primes d'émission
1042 - Primes de fusion
1043 - Primes d'apport
1044 - Primes de conversion d'obligations en actions
1045 - Bons de souscription d'actions

105. Ecarts de réévaluation
1051 - Réserve spéciale de réévaluation
1052 - Ecart de réévaluation libre
1053 - Réserve de réévaluation
1055 - Ecarts de réévaluation (autres opérations légales)
1057 - Autres écarts de réévaluation en France
1058 - Autres écarts de réévaluation à l'étranger

106. Réserves
1061 - Réserve légale
10611 - Réserve légale proprement dite
10612 - Plus-values nettes à long terme
1062 - Réserves indisponibles
1063 - Réserves statutaires ou contractuelles
1064 - Réserves réglementées
10641 - Plus-values nettes à long terme
10643 - Réserves consécutives à l'octroi de subventions d'investissement
10648 - Autres réserves réglementées
1068 - Autres réserves
10681 - Réserve de propre assureur
10688 - Réserves diverses (réserve de prévoyance, réserve extraordinaire, réserve facultative…)

107. Ecart d'équivalence
…

Les réserves sont de différentes sortes : réserves légales, indisponibles, statutaires ou contractuelles, réglementées et autres. Elles sont des bénéfices affectés durablement à l'entreprise, au compte 106, jusqu'à décision contraire des organes compétents. Ce compte est crédité, lors de l'affectation des bénéfices, des montants destinés. Les "réserves de propre assureur" entrent dans la catégorie "autres réserves" (CRC, 2000 ; AMF, 2001).

Correspondant mieux aux nouvelles exigences relatives aux éléments du passif externe d'une entreprise, elles sont définies comme des réserves destinées à couvrir la part de risque non couverte par une assurance lorsque ce risque n'est pas rattachable aux exercices clos. A cet égard, le risque d'accident sur une centrale nucléaire est considéré comme "non rattachable aux exercices clos" car ce risque est difficilement prévisible.

En vertu de la nouvelle réglementation comptable, EDF est donc tenu désormais de s'auto-assurer par le biais de ses capitaux propres. Ces réserves en amputent une partie et

seront mobilisées en cas d'accident nucléaire. Du fait de leur statut particulier, ces réserves sont coûteuses pour l'exploitant. Quel est alors leur coût ?

3.1.2. Les réserves de propre assureur : une auto-assurance coûteuse

Etant donné qu'elles sont constituées à partir des capitaux propres, évaluer le coût des réserves de propre assureur (et des réserves en général) revient à calculer le coût des capitaux propres.

En analyse financière, le coût des capitaux propres se calcule à l'aide de la méthode du MEDAF (Modèle d'Evaluation des Actifs Financiers) ou CAPM (*Capital Asset Pricing Model*). Développé à la fin des années 1950 et pendant les années 1960 à partir des travaux de Markowitz (1952, 1959), Treynor (1961, 1962), Sharpe (1964) et Lintner (1965) sur la théorie du portefeuille, cette méthode est aujourd'hui largement appliquée. En particulier, elle est la méthode la plus utilisée dans l'industrie électrique. Le MEDAF consiste à valoriser les actifs financiers d'une entreprise en se basant sur l'hypothèse selon laquelle les investisseurs cherchent à maximiser leur rentabilité sur ces actifs tout en minimisant leur risque. Les investisseurs sont soit des actionnaires soit des créanciers. Dans le premier cas, le MEDAF leur sert à calculer le coût des capitaux propres de l'entreprise. Ce coût définit l'exigence de rentabilité à laquelle prétendent les actionnaires sur les ressources de l'entreprise. Dans le second cas, le MEDAF permet de calculer le coût de l'endettement net de l'entreprise. Sommés ensemble, le coût des capitaux propres et le coût de l'endettement net représente le coût total du capital de l'entreprise, calculé à l'aide de la méthode dite du Coût Moyen Pondéré du Capital (ou *Weighted Average Cost of Capital*) (Vernimmen, 2005 ; Cohen, 2006). Ce qui importe ici est le premier élément : le calcul du coût des capitaux propres.

Comme le dit Vernimmen (2005), *"Le passif d'une entreprise n'étant en définitive qu'un écran entre le marché financier et l'entreprise elle-même, le taux de rentabilité exigé de tout investissement pour satisfaire (les actionnaires) est égal au loyer de l'argent sans risque plus une prime de risque liée à l'activité de l'entreprise"* (p.749). Aussi, par application du MEDAF, le coût des capitaux propres est-il égal à :

$$k_{cp} = r_f + \beta_{cp}.\ (r_m - r_f) \qquad (25)$$

k_{cp}, r_f , r_m et β_{cp} étant respectivement le coût des capitaux propres (taux de rentabilité exigé des actionnaires), le taux de l'argent sans risque, le taux de rentabilité du marché et le coefficient financier (le "bêta") de sensibilité des capitaux propres.

Le taux r_f est généralement estimé à partir des taux d'emprunts de l'Etat français représenté par le taux à long terme des OAT (Obligations Assimilables du Trésor). Ce taux présente, en effet, un risque de contre partie très faible et est donc généralement retenu comme taux de l'argent sans risque. La différence $(r_m - r_f)$ représente la prime de risque liée au risque de marché et à l'activité de l'entreprise. Cette prime est calculée à partir de la valorisation moyenne de l'entreprise sur le marché des actions par rapport aux autres entreprises.

Le taux r_m est la rentabilité exigée pour le marché dans son ensemble (c'est-à-dire la moyenne pondérée des rentabilités exigées sur toutes les actions qui composent le marché). Il va de soi que la prime de risque est plus difficilement calculable pour les entreprises non cotées en bourse (Lautier, 2003). Comme le chapitre 2 l'a mentionné, ce n'est, cependant, pas le cas d'EDF, qui est entrée en Bourse le 21 novembre 2005 (ouverture de 15% de son capital).

Enfin, β_{cp} mesure la sensibilité de l'actif de l'entreprise par rapport à la volatilité du marché : il s'agit d'un coefficient de dispersion de cet actif. Une entreprise dont le "bêta" est supérieur à 1 est plus risquée que le marché (son cours de bourse est plus volatile que l'indice boursier du marché) et inversement. L'actif sans risque a, par définition, un "bêta" égal à 0. Cette variable dépend surtout de l'activité qu'exerce l'entreprise est déterminé par cinq facteurs économiques : la structure des coûts de l'entreprise, sa sensibilité à la conjoncture, la visibilité de son activité, sa structure financière et le taux de croissance de ses résultats (Vernimmen, 2005).

D'après la méthode du MEDAF, quel est alors le coût des capitaux propres et donc des réserves de l'exploitant EDF ? Pour répondre à cette question, il faut évaluer les variables de l'équation (25). Concernant le taux de rendement r_f des OAT de long terme en France, le marché des obligations enseigne qu'il se situe actuellement entre 4% et 4,5%[189]. La prime de risque $(r_m - r_f)$ est variable en fonction de l'état du marché. La prime retenue ici est celle généralement estimée pour la France. Elle est comprise entre 4% et 5,5% (Dimson *et alii*, 2001 ; Prévot *et alii*, 2004). Quant au "bêta" de la branche production d'EDF, les valeurs retenues par le rapport Prévot *et alii* (2004) sur les coûts et les prix de l'électricité sont reprises. Basé sur les propres calculs internes d'EDF et sur l'évaluation du "bêta" pour d'autres entreprises comparables (Eon, RWE, Endesa, Electrabel), ce rapport retient une valeur du de

[189] Source : Boursorama (01.01.2007).

β_{cp} comprise entre 1,15 et 1,6. L'annexe 5 de ce rapport fait remarquer que *"cette valeur est plus élevée que celle de toutes les entreprises comparables (…) et implique qu'EDF serait pour ses actionnaires un investissement plutôt plus risqué que les autres sociétés du secteur"* (p.5). Ce risque plus élevé est sans doute largement imputable aux activités nucléaires d'EDF. Ces évaluations permettent donc de dégager un intervalle de valeurs pour le coût des capitaux propres d'EDF :

		Evaluation basse	Evaluation haute
Taux sans risque	r_f	4%	4,5%
Prime de risque	$(r_m - r_f)$	4%	5,5%
Coefficient bêta	β_{cp}	1,15	1,6
Coût des capitaux propres (et des réserves)	k_{cp}	8,6%	13%

Tableau 42. Le coût des capitaux propres de l'exploitant EDF

Ce tableau signifie que les actionnaires d'EDF peuvent exiger un taux de rentabilité sur le capital de l'entreprise compris entre 8,6% et 13% par an. Ces taux de rentabilité sont également exigibles des réserves d'EDF. Ils en représentent donc le coût annuel. Le taux k_{cp} est assez élevé mais cela s'explique par le fait qu'il représente un coût d'opportunité pour l'exploitant. En effet, ses réserves étant immobilisées dans ses comptes, il ne peut pas les employer pour un autre usage, plus productif.

Néanmoins, l'exigence de rentabilité n'est pas le seul élément constitutif du coût de la couverture par les réserves de propre assureur. Pour déterminer le coût total de cette couverture, le raisonnement est le suivant. Au début de sa période d'activité, notée $t = 1$, EDF constitue 60 millions € de réserves, pour couvrir les deux premiers tiers de sa RC. Cette somme est immobilisée jusqu'à ce qu'un accident survienne. La période de référence prise ici en compte est la durée de vie moyenne d'une centrale nucléaire de production, soit quarante ans. Si aucun accident ne survient sur la période, EDF récupérera ses 60 millions €, quarante ans plus tard, soit, en $t = 40$. Entre $t = 1$ et $t = 40$, la valeur monétaire des 60 millions € aura baissé. Cette dimension temporelle est prise en compte en actualisant le coût des réserves sur la période. A propos de cette actualisation, les normes IASB 37.45 et IAS 37.47 précisent que le coût doit être calculé comme : *"une valeur actualisée utilisant un taux d'intérêt net qui reflète à la fois le taux d'intérêt du marché actuel et les risques spécifiques liés à l'actif"* (Lebrun, 2004, p.25). Le taux de rentabilité k_{cp} sera utilisé comme taux d'actualisation. Il peut, en effet, être utilisé comme tel car, en tant que coût d'opportunité, il est le taux auquel EDF aurait pu investir ses 60 millions €, s'il n'avait pas du constituer des réserves pour s'auto-

assurer. Le coût k_{cp} est un coût d'immobilisation dans le temps. A ce titre, il peut être considéré aussi comme un taux de préférence pour le présent. En revanche, si un accident survient sur la période, les 60 millions € de réserves d'e l'exploitant seront mobilisées pour réparer les dommages et indemniser les victimes. D'autres réserves du même montant devront alors être reconstituées immédiatement pour d'éventuels accidents futurs. Pour simplifier, deux hypothèses sont émises. Premièrement, il est supposé qu'il ne peut y avoir qu'un seul accident sur la période. Deuxièmement, si un accident survient, la totalité des réserves sont mobilisées. La perspective de perdre ces réserves doit donc être prise en considération par l'exploitant dans le calcul du coût total de sa couverture. Cet élément peut être estimé en s'appuyant à nouveau sur la théorie classique du risque, c'est-à-dire, en calculant la valeur espérée de la perte des réserves. Ce second élément est également actualisé. De là, le coût total sur la période des réserves de propre assureur d'EDF, noté A, est égal à :

$$A = \left[60 - \frac{60.(1 - p.n)}{(1 + k_{cp})^{40}} \right] + \left[\sum_{t=1}^{t=40} \frac{60.p.n}{(1 + k_{cp})^{t}} \right] \qquad (26)$$

k_{cp} étant le taux d'actualisation (coût d'immobilisation), calculé avec la méthode du MEDAF, $p.n$ la probabilité qu'il y ait un accident nucléaire parmi les cinquante-huit réacteurs d'EDF (p étant la probabilité d'un accident par réacteur et n le nombre de réacteurs exploités par EDF) et 1-p la probabilité qu'il n'y ait pas d'accident.

De là, pour calculer le coût subi par EDF pour la constitution de ses réserves de propre assureur, il reste à définir la variable p. Pour les mêmes raisons que celles invoquées plus haut pour le calcul de la prime d'assurance actuarielle (avec la méthode (i)), nous retenons la probabilité de fusion de cœur du réacteur égal à 10^{-5} et les probabilités conditionnelles 0,81 et 0,19. On a alors : $p.n = (10^{-5}.0{,}81 + 10^{-5}.0{,}19).n = 10^{-5}.58$ (voir l'équation (23), p.214). L'équation (26) donne alors les résultats suivants :

$$A = \begin{cases} \left[60 - \frac{60.\left[1 - (10^{-5}.58)\right]}{(1 + 0{,}086)^{40}} \right] + \left[\sum_{t=1}^{t=40} \frac{60.(10^{-5}.58)}{(1 + 0{,}086)^{t}} \right] = 58{,}2 & \text{si } k_{cp} = 8{,}6\% \\ \left[60 - \frac{60.\left[1 - (10^{-5}.58)\right]}{(1 + 0{,}13)^{40}} \right] + \left[\sum_{t=1}^{t=40} \frac{60.(10^{-5}.58)}{(1 + 0{,}13)^{t}} \right] = 59{,}8 & \text{si } k_{cp} = 13\% \end{cases} \qquad (27)$$

Le coût de la couverture par les réserves d'EDF est alors compris entre 58,2 millions € (évaluation basse) et 59,8 millions € (évaluation haute) sur quarante ans, soit entre 1,4 millions €/an et 1,5 millions €/an pour la totalité de son parc nucléaire.

Trois limites doivent être toutefois émises quant à ce calcul.

Premièrement, le capital d'EDF coté en bourse est encore faible (15%), ce qui peut amener à penser que la prime de risque $(r_m - r_f)$ n'est pas révélatrice du "vrai" risque entreprise d'EDF. De plus, les marchés financiers présentent en général une forte réticence face aux activités nucléaires. Cette prime de risque est donc sans doute sous-évaluée.

Deuxièmement, de par son activité, EDF est doté d'un actif spécifique. Un actif est dit spécifique lorsqu'il est utilisé pour produire un bien particulier. Un actif spécifique nécessite des investissements lourds et à caractère irréversible. Seul un petit nombre de fournisseurs est donc susceptible de proposer cet l'actif. S'il génère une rente, cet actif entraîne aussi une dépendance économique pour l'exploitant. Il ne peut pas, ou difficilement (c'est-à-dire à un coût prohibitif), transférer et utiliser son actif dans un autre processus de production. S'il était utilisé pour un autre usage, il perdrait alors de sa valeur. La mise en place de tels investissements, si elle permet de réduire les coûts de production, n'en demeure pas moins risquée "*en ce sens que des actifs spécialisés ne peuvent pas être redéployés sans perte de valeur productive en cas d'interruption ou d'achèvement prématuré des contrats*" (Williamson, 1985, p…). Ce coût de réaffectation et le caractère peu flexible des investissements électriques, et en particulier nucléaires, rendent donc plus sensible l'activité d'EDF sur les marchés financiers. Par conséquent, on peut imaginer que le "bêta" estimé actuellement entre 1,15 et 1,6 devrait être plus élevé.

Troisièmement, malgré son ouverture récente à la concurrence, EDF reste majoritairement la propriété de l'Etat français. De ce fait, le risque financier de l'entreprise est réduit artificiellement par les garanties que lui octroie l'Etat. D'une part, EDF est une entreprise lourdement endettée qui bénéficie de taux d'intérêts préférentiels qui soulagent le niveau de sa dette (14,9 milliards € selon le rapport annuel 2006 d'EDF). D'autre part, l'Etat soutient EDF dans ses engagements hors bilans que sont les retraites de l'entreprise. Les employés d'EDF (les IEG, personnel des Industries Electriques et Gazières) bénéficient, depuis sa création en 1946, d'un régime retraites spécial, dont le coût (en termes de droit acquis) est très élevé. Ce coût est considéré aujourd'hui comme la "jambe de plomb" d'EDF et est évalué entre 50 milliards € et 70 milliards €. Etant donné la pyramide des âges de ses employés, EDF doit aujourd'hui faire face à ses engagements. Avec son changement de statut

en novembre 2004, son ouverture à la concurrence, le 1er juillet 2007, et la réforme annoncée par le gouvernement des régimes spéciaux, l'entreprise a été tenue de clarifier ses comptes. Cette clarification a révélé un réel déséquilibre entre ses engagements et ses fonds propres, qui s'élevaient à 23,3 milliards € (EDF, 2006b). EDF tente, depuis, de rééquilibrer ses comptes par un système de soultes permis par l'Etat, et sans lequel, EDF risquerait la faillite. Ainsi, ces privilèges accordés par l'Etat masque un équilibre financier fragile, qui a donc peu d'impact sur les marchés financiers.

Ces limites mises à part, on peut toutefois constater que, même dans le cas de l'évaluation haute du coût des capitaux propres (k_{cp} = 13%), nos calculs montrent que l'auto-assurance par le biais des réserves est actuellement plus intéressante pour EDF que le recours au *pool* d'assurance. Le tableau suivant récapitule nos résultats.

Mécanisme assuranciel	Montant des dommages couverts	Coût annuel	
Réserves de propre assureur	60	1,4 (évaluation basse)	1,5 (évaluation haute)
Assurance par le *pool*	31	6,4	
TOTAL	***91***	***7,8***	***7,9***

Tableau 43. Coût total de la couverture du plafond de RC d'EDF (en millions €)

La constitution de réserves est plus attractive car d'une part, elle est moins coûteuse (6,4 < 1,4 et 6,4 < 1,5) et d'autre part, les dommages couverts sont plus importants (60 > 31).

Dès lors, pourquoi EDF ne couvre-t-il pas la totalité de son plafond de RC avec ses propres réserves ? Malgré l'obligation d'EDF de couvrir sa RC, les Conventions AEN/OCDE ne lui imposent aucunement d'avoir recours au *pool*[190]. Dans ce cas, pourquoi assure-t-il une partie de sa RC auprès d'Assuratome malgré le coût très élevé que cela implique ? L'argument de la limite des ressources financières d'EDF ne tiendrait pas, eu égard aux bénéfices qu'il affiche depuis plusieurs années[191]. Par conséquent, s'il accepte de subir un surcoût en s'assurant auprès d'Assuratome, c'est qu'EDF en tire un avantage. Ce choix stratégique peut s'expliquer par sa préférence pour la liquidité. En effet, on peut imaginer qu'en dépit de ce surcoût, EDF préfère acheter une "option", qui lui coûte 20% des dommages couverts, mais grâce à laquelle il peut utiliser les 80% restants (31 millions € - 6,4 millions € = 24,6 millions

[190] Comme le chapitre 1 l'a montré, l'article 10 de la Convention de Paris précise seulement que : *"Tout exploitant devra être tenu (…) d'avoir et de maintenir (…) une assurance ou une autre garantie financière"*.
[191] Ces bénéfices ont été donnés dans le chapitre 1. Pour les années 2000-2006, EDF a enregistré un bénéfice annuel moyen de 1,7 milliards €.

€) pour un autre usage, plus productif et plus rentable. Au contraire, s'il couvrait son plafond de RC exclusivement avec ses réserves, il devrait immobiliser 91 millions € sur quarante ans. Avec l'"option" Assuratome, il est prêt à payer plus cher pour garder des liquidités.

En conclusion, si la constitution de réserves de propre assurance est plus intéressante pour EDF, cet avantage se maintiendra-t-il pour son nouveau plafond de responsabilité ? Pour couvrir 700 millions €, EDF va devoir réajuster sa combinaison actuelle (réserves ; assurance). Ses coûts de couverture vont donc évoluer. Dans la suite de l'analyse, toutes les combinaisons possibles entre recours au *pool* et constitution de réserves de propre assureur vont être comparées, afin d'en déterminer la combinaison optimale.

3.2. La couverture du nouveau plafond de RCN : un défi assuranciel

Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que, pour couvrir son plafond de RCN, EDF supportait un coût total entre à 7,8 millions €/an et 7,9 millions €/an pour la totalité de son parc nucléaire (Tableau 43, p.234). Dès lors, il est intéressant d'examiner de prés ce coût tant sa composition est singulière. En effet, l'assurance représente entre 82% (évaluation basse) et 81% (évaluation haute) du coût total de couverture et ne couvre pourtant que 33% des dommages (31 millions €). Il est alors frappant de voir combien le coût de l'assurance pèse dans la couverture de l'exploitant. Les raisons susceptibles d'expliquer un tel surcoût ont été avancées plus haut, en termes de structure du marché de l'assurance et de nature du risque.

Etant donné qu'il est peu probable que la structure du marché de l'assurance nucléaire ne change dans un futur proche, la question se pose alors de savoir comment dans ces conditions l'exploitant va-t-il garantir la couverture de son futur plafond de responsabilité ? La loi nucléaire française a incorporé les amendements des Protocoles de 2004, en juin 2006, et il est prévu qu'ils entrent en vigueur en 2008. C'est également le cas, à une date plus ou moins avancée, des autres membres européens des Conventions de Paris et de Bruxelles. De ce fait, les exploitants de tous ces pays vont devoir trouver rapidement des mécanismes de couverture, à la fois disponibles et efficaces, pour honorer leur nouvelle obligation. Cette question est, aujourd'hui, au cœur de toutes les discussions entre les Autorités nucléaires et les gouvernements. Concernant la France, EDF va d'abord naturellement envisager de repenser sa combinaison (réserves ; assurance) actuelle, de manière à l'adapter aux nouvelles contraintes (3.2.1). Eue égard à l'évolution du coût de la couverture, la combinaison la plus efficace et la plus soutenable pour EDF sera alors déterminée (3.2.2).

3.2.1. L'évolution du coût de couverture du nouveau plafond de RCN pour EDF

Le chapitre 1 a montré que le nouveau plafond de 700 millions € a été déterminé comme le résultat de négociations multilatérales entre les gouvernements, les exploitants nucléaires et les assureurs sur le marché (Dussart-Desart, 2005). C'est tout particulièrement la capacité affichée par le marché de l'assurance à couvrir le risque nucléaire qui a permis de fixer le montant du plafond. Partant de ce montant, les différentes combinaisons (réserves ; assurance) possibles pour le couvrir vont être examinées. Pour les comparer, les évolutions du coût respectif des deux instruments vont être évaluées. Pour ce faire, le système d'équations suivant doit être résolu :

$$\begin{cases} 60.(1+\boldsymbol{z})+31.(1+\boldsymbol{w})=700 \\ 31.(1+\boldsymbol{w})\le 700 \\ 60.(1+\boldsymbol{z})\le ? \\ 1+\boldsymbol{z}\ge 0 \\ 1+\boldsymbol{w}\ge 0 \end{cases} \qquad (28)$$

$\boldsymbol{z}$ et $\boldsymbol{w}$ sont les taux de croissance respectifs de la part des réserves de propre assureur et de la part d'assurance dans la nouvelle couverture de l'exploitant.

Ce système d'équations traduit la question suivante : quelle doit être la variation de la part des réserves et de la part d'assurance pour couvrir le nouveau plafond de responsabilité de 700 millions € ? La variation de la part des réserves est évaluée par l'inégalité $60.(1+\boldsymbol{z})\le ?$ et la variation de la part de l'assurance par l'inégalité $31.(1+\boldsymbol{w})\le 700$.

Pour répondre à cette question, nous savons déjà que la capacité du marché de l'assurance est limitée à 700 millions €. Cette limite est reflétée dans la borne de l'inégalité relative à l'assurance ($31.(1+\boldsymbol{w})\le 700$). En revanche, le choix a été fait de ne pas borner l'inégalité concernant les réserves ($60.(1+\boldsymbol{z})\le ?$). En effet, cette borne dépend de la capacité de l'exploitant à constituer des réserves sur ses fonds propres. Elle est donc variable. En s'appuyant sur les capitaux propres qu'EDF affiche dans ses bilans comptables, plusieurs extensions à cette inégalité seront étudiées. Les inégalités $1+\boldsymbol{z}\ge 0$ ($\boldsymbol{z}\ge -1$) et $1+\boldsymbol{w}\ge 0$ ($\boldsymbol{w}\ge -1$) signifient que les réserves ou le recours à l'assurance peuvent être réduits ($-1\le \boldsymbol{z}<0$ ou $-1\le \boldsymbol{w}<0$), accrus ($\boldsymbol{z}>0$ ou $\boldsymbol{w}>0$), ou maintenus à leur niveau actuel ($\boldsymbol{z}=0$ or $\boldsymbol{w}=0$) par l'exploitant.

A partir du système d'équations (28), l'évolution des coûts respectifs des réserves et de l'assurance, consécutive à leur variation, sera ensuite examinée. Chaque nouvelle combinaison (réserves ; assurance) correspondra à un coût différent. Le coût du nouveau montant de réserves, noté ***A***', sera calculé avec l'équation (27) définie plus haut en remplaçant le nombre 60 par le nouveau montant de réserves envisagé (en millions €). Quant aux nouvelles primes d'assurance, notées ***P'***, elles seront calculées par extrapolation de la prime actuelle[192]. Comme pour le calcul du coût des réserves, ces primes doivent aussi être actualisées sur la période (quarante ans). Toutefois, le taux d'actualisation utilisé pour les primes n'est pas le même que celui utilisé pour les réserves, soit k_{cp}. En effet, k_{cp} est un coût d'immobilisation d'un actif liquide dans le temps. Or, les primes d'assurance ne sont pas considérées comme telles. Au sens comptable, elles sont, en effet, des charges externes (qui viennent au débit du compte de charges 616) qui sont inscrites dans le compte d'exploitation d'une entreprise, à l'annexe du Bilan. Le compte d'exploitation présente l'ensemble des charges (dépenses) et des produits (recettes) de l'entreprise. Le solde de ce compte détermine le résultat net de l'entreprise (bénéfice ou perte). Ce résultat apparaît, lui, dans le Bilan, au niveau du passif interne (voir Tableau 41, p.225). De ce fait, les primes d'assurance doivent être actualisées sur la période avec un taux d'actualisation net, noté a, tel que : $a = a' - \pi$, a' étant le taux d'actualisation nominal et π, le taux d'inflation. Le taux retenu ici est le taux utilisé par EDF lui-même, soit a = 3% = 0,03. Les nouvelles primes P' seront alors calculées, pour chaque combinaison assurancielle, à l'aide de la formule suivante :

$$P' = \sum_{t=1}^{t=40} \frac{6{,}4.M \,/\, 31}{(1+0{,}03)^t} \qquad (29)$$

M étant le nouveau montant de dommages couvert par l'assurance.

S'appuyant ainsi sur le système d'équations (28) et sur les équations (27) et (29), le tableau suivant présente les différentes combinaisons (réserves ; assurance) qui permettraient à l'exploitant français de couvrir sa nouvelle limite de responsabilité.

[192] Malgré les défaillances du marché de l'assurance analysées plus haut, et le niveau excessif de la prime d'assurance actuelle, cette technique d'extrapolation est pertinente puisque les inefficacités actuelles se répercuteront sans aucun doute sur le futur montant de dommages couverts par l'assurance. Aussi, la prime future demandée par le *pool* à l'exploitant sera certainement encore excessive.

.	***z*** (%)	***w*** (%)	Nouveau montant de Réserves	Nouveau Montant de dommages assurés	Coût annuel des réserves (***A'***/40)		Prime annuelle (***P'***/40)	Coût total annuel de couverture ((***A'***+***P'***)/40)	
					k_{cp}=8.6%	k_{cp}=13%		k_{cp}=8.6%	k_{cp}=13%
60(1+z)=0	-1	+21,6	0	700	0	0	83,5	83,5	83,5
60(1+z) ≤ 60	0	+19,6	60	640	1,4	1,5	76,4	77,8	77,9
60(1+z) ≤ 110	+0,8	+18	110	590	2,6	2,7	70,4	73	73,1
60(1+z) ≤ 160	+1,7	+16,4	160	540	3,8	3,9	64,4	68,2	68,3
60(1+z) ≤ 210	+2,5	+14,8	210	490	5,1	5,2	58,4	63,5	63,6
60(1+z) ≤ 260	+3,3	+13,2	260	440	6,3	6,5	52,5	58,8	59
60(1+z) ≤ 310	+4,1	+11,6	310	390	7,5	7,7	46,5	54	54,2
60(1+z) ≤ 360	+5	+9,9	360	340	8,7	8,9	40,6	49,3	49,5
60(1+z) ≤ 410	+5,8	+8,3	410	290	9,9	10,2	34,6	44,5	44,8
60(1+z) ≤ 460	+6,6	+6,7	460	240	11,1	11,5	28,6	39,7	40,1
60(1+z) ≤ 510	+7,5	+5,1	510	190	12,4	12,7	22,7	35,1	35,4
60(1+z) ≤ 560	+8,3	+3,5	560	140	13,6	13,9	16,7	30,3	30,6
60(1+z) ≤ 610	+9	+1,9	610	90	14,8	15,2	10,7	25,5	25,9
60(1+z) ≤ 660	+10	+0,3	660	40	15,9	16,4	4,8	20,7	21,2
60(1+z) ≤ 700	**+10,7**	**-1**	**700**	**0**	**16,9**	**17,4**	**0**	**16,9**	**17,4**

* évaluation haute ; ** évaluation basse

Tableau 44. Les différentes combinaisons (réserves ; assurance) possibles pour EDF pour couvrir son nouveau plafond de RC de 700 millions € (en millions €)

Quinze extensions ont donc été étudiées pour les réserves, allant de 0 à 700 millions €. Le point de départ du calcul est la situation dans laquelle la couverture du nouveau plafond de RC de l'exploitant repose exclusivement sur l'assurance. De là, le recours à l'assurance est progressivement réduit au profit de la constitution des réserves de propre assureur et l'évolution de leur coût respectif est examinée. Dès lors, quelle conclusion ce tableau permet-il de tirer quant à la future couverture d'EDF ? Quelle nouvelle combinaison (réserves ; assurance) sera la moins coûteuse pour lui ?

3.2.2. Quelle nouvelle combinaison (réserves ; assurance) pour EDF ?

Au regard du Tableau 44, il semble clair que les réserves de propre assureur sont moins coûteuses que l'assurance pour couvrir le nouveau plafond d'e l'exploitant. Cette conclusion a plusieurs fondements.

Tout d'abord, les coûts des réserves de propre assureur et de l'assurance sont croissants avec leur extension. Ce résultat est tout à fait logique. On constate, néanmoins, que le coût des réserves $\boldsymbol{A'}$ croît moins vite que la prime d'assurance $\boldsymbol{P'}$. En effet, l'écart de départ entre les coûts respectifs des réserves et de l'assurance est conservé. Alors que le coût des réserves augmente d'environ 1,2 millions € à chaque fois que 50 millions € de réserves supplémentaires sont constitués (entre chaque ligne du Tableau 44). La prime d'assurance augmente, elle, de 6 millions € pour la même variation. Les coûts marginaux des réserves et de l'assurance sont donc constants. Ainsi, entre 0 et 700 millions €, l'écart entre les deux instruments reste le même, en défaveur de l'assurance.

Ensuite, l'inégalité $60(1+\boldsymbol{z}) \leq 60$ implique que les réserves de propre assureur d'EDF ne pourraient pas être augmentées au-dessus de leur niveau actuel. Dans ce cas, ses réserves se maintiendraient à 60 millions € et l'assurance devrait couvrir le reste des dommages, soit 640 millions €. Le coût annuel total de la couverture s'élèverait alors à 77,8 millions € pour l'évaluation basse et à 77,9 millions € pour l'évaluation haute. Cette contrainte financière pourrait être due à trois causes : 1) une insuffisance de capitaux propres de l'entreprise 2) un coût des réserves trop important susceptible de menacer la solvabilité de l'exploitant 3) une préférence pour la liquidité (argument développé en 3.1.2). Mais est-ce le cas ici ? Concernant la première cause, l'observation des bilans comptables d'EDF de ces dernières années montre que l'exploitant dispose de capitaux propres suffisants pour augmenter ses réserves de propre assureur bien au-delà des 60 millions € actuels. En effet, entre 2003 et 2006, au 31 décembre, l'entreprise affiche respectivement des montants de capitaux propres de 21,4 milliards €, 19,3 milliards €, 17,6 milliards € et 22,1 milliards € (EDF, 2004a, 2005, 2006b). Parmi ces capitaux propres, les réserves (toutes confondues) s'élèvent respectivement à 5,3 milliards €, 4 milliards €, 8,9 milliards € et 0,75 milliards € (EDF, 2004a, 2005, 2006b)[193]. Concernant la

[193] Les différences entre les montants des capitaux propres et des réserves sont principalement dues aux évolutions de la réglementation comptable française survenues entre 2000 et 2005 (Règlements CRC n°2000-06 relatif au passifs et n°2005-09 relatif à l'amortissement et à la dépréciation d'actifs), qui se sont traduits par des remaniements comptables (allègement de certaines charges d'amortissement, reprises sur provisions pour retraites et avantages du personnel etc…) (CRC, 2000, 2005).

deuxième cause, d'après les résultats du Tableau 44, le coût des réserves est plus faible que l'assurance et est assez modéré, comparativement aux ressources de l'exploitant. Ainsi, dans les limites étudiées dans ce tableau, l'accroissement des réserves ne serait apparemment pas une source de menace pour la santé financière de l'exploitant. Par ailleurs, l'inégalité $60(1+\boldsymbol{z}) \leq 700$, l'un des cas extrêmes de l'étude, confirme l'intérêt, pour EDF, d'accroître le recours à ses réserves plutôt qu'à l'assurance. En effet, cette inégalité suppose que l'exploitant s'auto-assure en totalité sur ses propres réserves, c'est-à-dire, qu'il immobilise dans ses comptes 700 millions €, au titre de la couverture de sa RC. Du point de vue du coût de la couverture de son nouveau plafond, cette solution est la plus intéressante pour EDF car elle est la moins coûteuse. En effet, le coût total serait, dans ce cas, minimisé et s'élèverait à 16,9 millions €/an (évaluation basse) et à 17,4 millions €/an (évaluation haute). Evidemment, cette solution repose sur l'hypothèse selon laquelle l'exploitant peut constituer 700 millions € de réserves de propre assureur de manière soutenable (soit une hausse d'un facteur $1+\boldsymbol{z} = 10,7$ par rapport aux réserves actuelles). Au regard à ses ressources, cette soutenabilité semble garantie. Le recours exclusif à ses réserves est donc la meilleure solution pour couvrir son nouveau plafond de RC. Au contraire, si la couverture du risque nucléaire était exclusivement prise en charge par le *pool* d'assurance (cas où on a $60(1+\boldsymbol{z})=0$), le coût total pour l'exploitant (représenté par la prime d'assurance $\boldsymbol{P'}$) serait alors maximum et égal à 83,5 millions €/an, pour ses cinquante-huit réacteurs. La combinaison (0 ; 700), l'autre cas extrême de l'étude, serait la moins efficace.

Ainsi, le Tableau 44 enseigne que la combinaison optimale (réserves ; assurance) qui permettrait à EDF de couvrir son nouveau plafond de responsabilité, tout en minimisant son coût de couverture, serait la combinaison (700 ; 0).

Pour conclure, l'analyse de cette section a montré que les réserves de propre assureur ont aussi un coût pour l'exploitant, au même titre que les primes d'assurance. Toutefois, leur statut comptable très particulier, ainsi que leur modalités spécifiques de calcul les distinguent des mécanismes assuranciels traditionnels. De plus, ces réserves sont sélectives. Elles ne sont, en effet, pas à la portée de tous les exploitants et supposent qu'ils aient une assise financière importante. S'appuyant sur l'exemple de la France, où l'exploitant EDF peut se permettre ce type d'auto-assurance, l'analyse a ensuite montré que la couverture d'un plafond de responsabilité étendu, de 700 millions € ou plus, devrait particulièrement favoriser la constitution des réserves de propre assureur, au détriment de l'assurance. Etant donnés les coûts très élevés de cette dernière, la combinaison entre réserves et assurance, même

repensée, devrait être abandonnée. En effet, les résultats amènent à la conclusion que la meilleure solution pour EDF serait un recours exclusif à l'auto-assurance, par l'intermédiaire de ses réserves financières. Les Protocoles de modification de 2004, et avec eux le nouveau plafond de RCN, devraient entrer en vigueur en 2008, du moins en France. Ainsi, la conclusion de cette section semble raisonnable, étant donné le court délai imparti jusque là à EDF, pour trouver des alternatives faisables et efficaces. Seuls deux facteurs pourraient contrarier cette nouvelle orientation. D'une part, le recours à l'assurance pourrait devenir moins coûteux si les défaillances actuelles du marché se réduisaient (du fait d'une mise en concurrence entre les *pools* par exemple). Toutefois, cette éventualité est difficilement envisageable dans le court terme. D'autre part, l'attractivité des réserves pourrait être amoindrie, dans une certaine mesure, si l'exploitant présentait une forte préférence pour la liquidité. Dans ce cas, il opterait pour une combinaison (réserves ; assurance) plus coûteuse, mais plus avantageuse du point de vue de ses disponibilités financières.

4. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif d'analyser la couverture actuelle du risque nucléaire sur les marchés de l'assurance des pays membres des Conventions de Paris et de Bruxelles. Pour cela, deux étapes ont été suivies.

Alors que le risque nucléaire était, dans les années 1950, considéré comme inassurable, la première étape de notre réflexion a consisté à examiner la solution apportée par le marché pour couvrir ce risque. A cet égard, le marché de l'assurance nucléaire a fait l'objet d'une analyse approfondie. Nous avons montré comment les assureurs ont réagi face à ce risque et quelles ont été les caractéristiques particulières de leur offre. Nous avons ainsi vu que les assureurs se sont regroupés dans des *pools* organisés sur une base nationale et non-concurrentielle. Ces *pools* sont des monopoles sur leur marché et bénéficient d'une exemption au droit de la concurrence. Tous créés entre les années 1950 et 1970, ils sont encore en vigueur aujourd'hui. A l'exception de l'exploitant nucléaire français, tous les exploitants nucléaires européens ont aujourd'hui exclusivement recours à ces *pools* d'assurance pour couvrir leur RC. Cependant, cette organisation spécifique du marché de l'assurance nucléaire présente plusieurs limites. D'une part, le fait que les *pools* d'assurance nucléaire soient exemptés du droit de la concurrence est source d'inefficacités. En effet, plusieurs arguments ont été avancés, montrant que ce régime de faveur confortait les assureurs des *pools* dans leur

position dominante et les encourageait à une activité de *lobbying* pour conserver leur avantage. Cette concentration organisée se fait au détriment des concurrents potentiels, qui sont exclus du marché, et des exploitants, qui sont contraints d'accepter une offre unique. D'autre part, eu égard à cette offre monopolistique, l'analyse s'est ensuite intéressée aux coûts de ce marché. Pour les évaluer, l'étude s'est focalisée sur les *pools* d'assurance des pays européens et, plus particulièrement, sur le cas de la France, comme exemple représentatif de ces pays. L'évaluation a conclu à une solution assurancielle très coûteuse pour les exploitants. Deux explications ont été avancées concernant ce surcoût. D'abord, il a été montré que la structure monopolistique du marché de l'assurance nucléaire pouvait contribuer à la détermination d'une prime d'assurance excessive. Puis, étant donné que le risque nucléaire est un risque non diversifiable, sa couverture peut justifier un coût surévalué.

De là, la seconde étape de l'analyse a consisté à étudier dans quelle mesure le marché de l'assurance nucléaire actuel serait capable de couvrir le nouveau plafond de RCN des exploitants mis en place par les Protocoles de modification des Conventions AEN/OCDE de 2004. Cette question est fondamentale étant donné d'une part, que le futur plafond de RCN est jusqu'à dix fois plus élevé que les plafonds actuellement en vigueur dans les pays membres des Conventions (voir Graphique 1, p.59) et d'autre part, que le marché de l'assurance est très coûteux. L'examen de cette question s'est appuyé à nouveau sur le cas français. Le cas français est toutefois spécifique ici puisque l'exploitant nucléaire EDF a recours à une assurance partielle, combinant une auto-assurance par le biais de ses propres réserves financières et une assurance stricte auprès du *pool* Assuratome. Pour étudier la couverture du futur plafond de RCN, le coût des réserves de l'exploitant a donc aussi dû faire l'objet d'une évaluation. Il a été ainsi montré que les réserves sont, pour le plafond actuel de l'exploitant français, moins coûteuse que l'assurance. L'évolution de ce coût pour le futur plafond a ensuite été examinée, ainsi que toutes les combinaisons (réserves ; assurance) possibles que l'exploitant pouvait choisir pour honorer sa nouvelle obligation. Nous avons ainsi montré que pour couvrir un plafond de RCN de 700 millions €, tout en minimisant ses coûts, l'exploitant devrait reconsidérer sa combinaison actuelle entre réserves et assurance, en abandonnant totalement le recours au *pool*. Cette seconde étape est donc venue confirmer la conclusion de la première, selon laquelle le marché de l'assurance actuel était coûteux. Il le sera encore davantage pour un plafond de RCN relevé.

Néanmoins, même si l'exploitant nucléaire français parvenait à faire un effort financier suffisant pour augmenter ses réserves à 700 millions €, il subirait quand même un coût non

négligeable (évalué entre 16,9 millions € et 17,4 millions € par an) et devrait sacrifier sa préférence pour la liquidité. Ce mécanisme d'auto-assurance est donc limité. En particulier, les réserves de propre assureur deviendraient bien trop coûteuses pour des plafonds beaucoup plus élevés tels que le plafond américain actuel de près de 10 milliards €. Elles le seraient encore davantage si tout plafond venait à être supprimé. De plus, la constitution de réserves financières pour s'auto-assurer est spécifique à EDF et ne peut être préconisée pour tous les exploitants européens. Ces réserves sont en effet attractives car elles sont récupérables, au contraire des primes d'assurance mais elles sont inaccessibles pour les petits exploitants. De la même manière, le recours à l'auto-assurance est plus abordable pour les exploitants publics en général. En effet, même de petite taille, les exploitants publics ont l'avantage d'avoir la garantie de l'Etat et il serait donc plus facile pour eux de constituer des réserves financières de propre assureur. A l'inverse, cette solution est peu réaliste pour les petits exploitants privés. Ainsi, en Europe, tous les exploitants nucléaires ont recours aux *pools* pour couvrir leur plafond de RCN. Ils subissent donc tous leurs inefficacités. Pour le futur plafond de 700 millions €, un recours exclusif aux *pools* (extrapolé sur le cas français), leur coûterait individuellement 83,5 millions €/58 = 1,5 millions € par réacteur par an.

Le chapitre 3 conclut donc sur une insuffisance globale de la couverture actuelle du risque nucléaire. Le constat de cette insuffisance ne constitue cependant pas en soi une avancée, puisqu'en l'absence d'alternative, la solution assurancielle actuelle serait conservée comme étant la moins dommageable. Le chapitre qui suit se propose alors de relever un défi capital : celui de proposer une solution alternative qui vient renforcer le constat établi.

CHAPITRE 4.

UN *RISK-SHARING* EUROPEEN : UNE ALTERNATIVE A LA COUVERTURE ACTUELLE DU RISQUE NUCLEAIRE

1. Introduction

"Il n'y a pas de solution de marché au problème de la Nouvelle-Orléans". Cette phrase, prononcée par Thomas C. Schelling, prix Nobel d'économie 2005 (avec Robert Aumann) (citée dans Michel-Kerjan, 2006), quelques temps après le passage dévastateur de l'ouragan Katrina aux Etats-Unis, résume bien les nouveaux enjeux de la couverture financière posés par la survenance de sinistres de grande échelle plus fréquents, aux effets plus globaux, et aux coûts croissants.

La couverture du risque nucléaire présente ces caractéristiques mêmes. Elle comporte des enjeux qui vont même bien au-delà de sa dimension juridique et économique. Parvenir à garantir une couverture du risque nucléaire large et soutenable est un véritable défi économique et social pour les exploitants nucléaires. De leur capacité à relever ce défi dépendra une meilleure acceptabilité, par l'opinion publique, de la production d'énergie nucléaire et, de là, une confiance nécessaire à un soutien durable de leurs activités. Néanmoins, aujourd'hui, le défi n'est pas relevé. D'une part, nous avons vu, en effet, que la couverture du risque nucléaire était limitée du fait de l'existence d'un plafond à la RC des exploitants nucléaires. D'autre part, nous avons aussi montré que ce plafond a engendré de fausses solutions au problème de la couverture du risque nucléaire. Les *pools* nationaux d'assurance auxquels les exploitants ont aujourd'hui recours sont insatisfaisants du point de vue de leurs coûts. De plus, étant donné leurs contraintes de capacité financière, ils ne nous semblent pas constituer un instrument de couverture viable à long terme. Il est alors aisé d'imaginer que, dans le cas de l'existence d'une alternative plus intéressante, certains exploitants nucléaires se retireraient des *pools*. Par conséquent, ce dernier chapitre a pour objectif de reconsidérer entièrement le système actuel de couverture du risque nucléaire, en écartant les *pools* de l'éventail des instruments envisageables à cette fin. Dans cette perspective, un tout autre mécanisme est envisagé, à la fois plus adapté, plus actuel et plus

efficace pour la couverture du risque nucléaire. L'analyse est ici davantage normative et la question posée est la suivante : un mécanisme alternatif pourrait-il fournir une meilleure indemnisation aux victimes et permettre d'internaliser l'intégralité des coûts du risque par les exploitants ? Pour répondre à cette question, l'analyse adopte une démarche en deux étapes.

Dans une première temps, nous nous intéressons, dans un but comparatif, à d'autres risques de nature catastrophique dont la couverture est fondée sur des mécanismes innovants et originaux, alternatifs au marché traditionnel de l'assurance. De ces exemples, l'attention est portée, en particulier, sur les accords de partage de risque entre industriels ou *risk-sharing*. Cet instrument a des avantages indéniables par rapport à l'assurance actuelle et beaucoup d'entreprises génératrices de risques technologiques et environnementaux y ont aujourd'hui recours. Par ailleurs, il existe dans la littérature économique plusieurs travaux sur le sujet. Ces travaux constituent notre point de départ analytique (Kornhauser et Revesz, 1989 ; Holm, 1999 ; Skogh, 1999 ; Faure et Hartlief, 2003 ; Mahul et Wright, 2003 ; Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006).

Sur la base de ces travaux, ce chapitre présente, ensuite, alors en détail l'alternative proposée à la couverture actuelle du risque nucléaire. Les réponses assurancielles, construites sur les mêmes bases depuis leur mise en place à la fin des années 1950, doivent être adaptées et élargies dans une vision globale, aujourd'hui réellement internationale. Dans cette perspective, l'alternative proposée est fondée sur un partage horizontal du risque entre exploitants nucléaires à l'échelle européenne. De cette manière, les exploitants pourraient s'affranchir de tout recours aux *pools* d'assurance et éliminer, par là même, leurs inefficacités.

2. Une alternative à l'assurance nucléaire : sur la voie du *Risk-sharing*

Faisant écho à la conclusion du chapitre 3 selon laquelle la couverture actuelle du risque nucléaire est inefficace, la question posée ici est la suivante : si le risque nucléaire est inassurable sur le marché traditionnel de l'assurance et que les *pools* existants ne sont pas satisfaisants, dans quelle mesure un mécanisme alternatif parviendrait-il à mieux accomplir cette tâche ? Comme nous l'avons déjà mentionné, les marchés assurent et réassurent aujourd'hui bien au-delà des capacités envisagées il y a quarante ou cinquante ans. En effet, des instruments novateurs, dérivés directement de l'assurance ou complémentaires ont vu le jour depuis quelques années et la dimension catastrophique et incertaine d'un risque n'est désormais plus un obstacle à sa couverture. Les critères d'assurabilité se sont élargis,

repoussant ainsi les réticences des marchés à couvrir certains risques jusqu'à présent considérés comme inassurables. Cette problématique d'une assurabilité *nouvelle* ou d'une assurabilité *étendue* a fait l'objet dans la littérature récente de nombreux travaux sur lesquels l'analyse entreprise dans cette section s'appuie (Laster et Schmidt, 2006 ; Chemarin *et alii*, 2004 ; Faure, 2004 ; Courbage et Liedtke, 2003 ; Faure et Grimeaud, 2003 ; Faure et Hartlief, 2003 ; Faure et Fenn, 1999). Dans un premier temps, une typologie des outils alternatifs aujourd'hui disponibles pour compléter (ou remplacer) les instruments assuranciels traditionnels est proposée (2.1). Cette typologie montre que ces nouveaux outils sont capables d'offrir aux entreprises une vaste palette de solutions afin de répondre à leurs besoins sans cesse croissants de transférer leurs risques. Des applications de ces outils sont illustrées avec l'exemple de la couverture d'autres risques catastrophiques. Dès lors, l'analyse fournit des pistes pour trouver une alternative à la couverture du risque nucléaire. A l'inassurabilité traditionnelle du risque nucléaire nous répondons alors par sa *couvrabilité*. Dans un second temps, l'attention est portée tout particulièrement sur le mécanisme de *risk-sharing*. La préférence pour cette alternative à l'assurance est justifiée par le fait qu'elle présente de sérieux avantages comparatifs (2.2).

2.1. Une typologie des alternatives à la couverture des risques catastrophiques

Comme l'introduction générale l'a souligné, depuis quelques années les sociétés sont confrontées à des risques sans précédents. Non que ces risques soient nouveaux dans leur nature, mais l'ampleur de leurs dommages et leur imprévisibilité en constituent des caractéristiques inédites. Les tempêtes extraordinaires de décembre 1999 en France, les attentats new-yorkais du 11 septembre 2001, suivis de l'explosion de l'usine AZF de Toulouse le 21 septembre sont autant d'événements d'origine naturelle, humaine ou technologique qui transforment le marché de l'assurance. L'assurance est aujourd'hui la première industrie au monde en termes de revenus générés par son activité. Avec 3000 milliards $ de revenus générés en 2004, elle serait la troisième économie mondiale en termes de PIB (Michel-Kerjan, 2006). Pourtant, depuis le début des années 2000, du fait de la succession de catastrophes, on constate une tendance baissière des capacités mondiales des marchés assuranciels de près de 25% (en termes de dommages couverts) (Chemarin *et alii*, 2004). Dans un tel contexte de catastrophe et d'incertitude, l'innovation a été requise et des outils alternatifs à l'assurance traditionnelle ont été développés, semblant mieux adaptés pour répondre aux nouvelles

contraintes que présentent ces risques. Ces nouveaux outils sont ce que l'on appelle des produits de Transfert Alternatif de Risque, ou ART (*Alternativ Risk Transfer*). Une typologie de ces ART, ainsi que leurs applications pratiques, sont présentées dans le tableau suivant.

<table>
<tr><th></th><th>Transfert Alternatif de Risque (ART)</th><th>Applications</th><th>Exemples</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Solutions alternatives (marchés financiers)</td><td>Swaps</td><td>Catastrophes naturelles</td><td>CATEX (New York)</td></tr>
<tr><td>Options sur indice</td><td>Catastrophes naturelles</td><td>CBOT (Chicago)
cat options (Eartquake Risk bonds…)</td></tr>
<tr><td>Obligations indexées</td><td>Catastrophes naturelles</td><td>CBOT (Chicago) : cat bonds</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Structures alternatives</td><td>Captives</td><td>Risques environnementaux (+Risques de développement)</td><td>Omnium I&R Co Ltd (Total)
Alphega Insurance Ltd (Elf Aquitaine)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Accords de partage de risque</td><td>Catastrophes naturelles</td><td>CatNat (France)
California Earthquake Authority (Etats-Unis)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Risques industriels</td><td>Affiliated Chemical Group
Assurpol (France)
Assuratome (France)</td></tr>
<tr><td>Clubs P&I</td></tr>
<tr><td>Risque terroriste</td><td>TRIA (Etats-Unis)
GAREAT (France)
Pool Re (Royaume-Uni)
Extremus AG (Allemagne)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fonds</td><td>Risques industriels</td><td>FIPOL 92 et FIPOL 2003
FIVA (France)
FGAO (France)
CERCLA/SARA (Superfund) (Etats-Unis)</td></tr>
<tr><td>Risque terroriste</td><td>FGTI (France)</td></tr>
</table>

Tableau 45. Typologie des ART pour la couverture des risques catastrophiques

Les ART visent à augmenter l'efficacité du transfert de risque, à repousser les limites de l'assurabilité et à fournir des capacités supplémentaires de couverture des risques. Le marché des ART est composé de deux segments : le transfert du risque via des *solutions alternatives*, offertes principalement par les marchés financiers (2.1.1) et le transfert du risque via des *structures alternatives*, fondées sur le principe de mutualité et de partage du risque (2.1.2).

2.1.1. Les solutions alternatives : l'offre des marchés financiers

Face à la sinistralité croissante induite par chaque nouvel événement catastrophique, les compagnies d'assurance ont, depuis quelques années, la possibilité de transférer aux marchés financiers, une partie de ces risques catastrophiques. Ce type de transfert correspond à la "titrisation" du risque. Il leur permet, d'une part, d'éviter tout risque d'insolvabilité et d'autre part, de limiter le coût de la réassurance. Ce recours aux marchés des capitaux a notamment connu un regain d'intérêt depuis les catastrophes successives survenues dans les années 1990 et 2000. Les premiers travaux d'analyse des produits proposés par les marchés financiers sont dus à D'Arcy et France (1992) et Niehaus et Mann (1992). Comme le montre le Tableau 45, ces instruments sont actuellement utilisés exclusivement pour couvrir le risque de catastrophes naturelles. Ce risque comprend le risque de tremblement de terre, d'inondation, de cyclones, de sécheresse, de glissement de terrain, d'avalanches et de raz-de-marée. Ce sont les Etats-Unis qui ont initié cette pratique, dans les années 1990, à la suite de l'ouragan Andrew (Floride, 1992) et du tremblement de terre de Northridge (Californie, 1994) qui ont coûté respectivement 22,3 milliards $ (Mahul et Wright, 2003 ; Chemarin *et alii*, 2004) et 18,4 milliards $ (Michel-Kerjan, 2006) et ont causé la faillite de plusieurs compagnies d'assurance aux Etats-Unis. Les assureurs se sont alors tournés vers des formules de titrisation du risque afin d'élargir leur capacité (2.1.1.1). Nous examinerons dans quelle mesure cette titrisation peut fournir une piste sérieuse à une alternative à la couverture du risque nucléaire (2.1.1.2).

2.1.1.1. La titrisation du risque de catastrophes naturelles

Les marchés financiers offrent actuellement trois formules de titrisation pour couvrir le risque de catastrophes naturelles : les échanges de portefeuilles entre assureurs (ou *swaps*), les options sur indice et les obligations indexées.

Les échanges de portefeuille (ou *swaps*) entre assureurs permettent à des assureurs géographiquement éloignés (Floride vs. Californie par exemple) et exposés à un risque de catastrophes naturelles différent (ouragan vs. séisme) de niveler entre eux leur différence d'exposition aux risques. Le risque global du portefeuille de chacun des assureurs est alors normalisé en "unités standards d'exposition" (Unités SE) qu'ils s'échangent, après négociation, en fonction de la probabilité estimée de leur risque respectif. Chaque assureur

réduit ainsi le risque global de son portefeuille. Cette standardisation des risques les rend substituables et donc échangeables. Ces échanges permettent ainsi aux assureurs de se couvrir contre les fluctuations et les aléas liés au risque qu'ils couvrent. En particulier, ils permettent de réduire les surexpositions au risque de certains d'entre eux. C'est le CATEX (*Catastrophe Risk Exchange)* de New York qui a mis en place ce type de produit financier en 1996. Comme l'expliquent Godard *et alii* (2002), le fonctionnement du CATEX est le suivant. Une cotisation annuelle de 75 000 $ est demandée à chaque participant (au nombre de 240 aujourd'hui) qui doit également s'acquitter d'un droit annuel à échanger de 24 000 $. Le CATEX prélève aussi des frais sur toute transaction effectuée : 2000 $ par unité standard d'exposition échangée pour chacune des parties (Kretzler et Wagner, 2000). Le fonctionnement du CATEX est représenté sur la Figure 15.

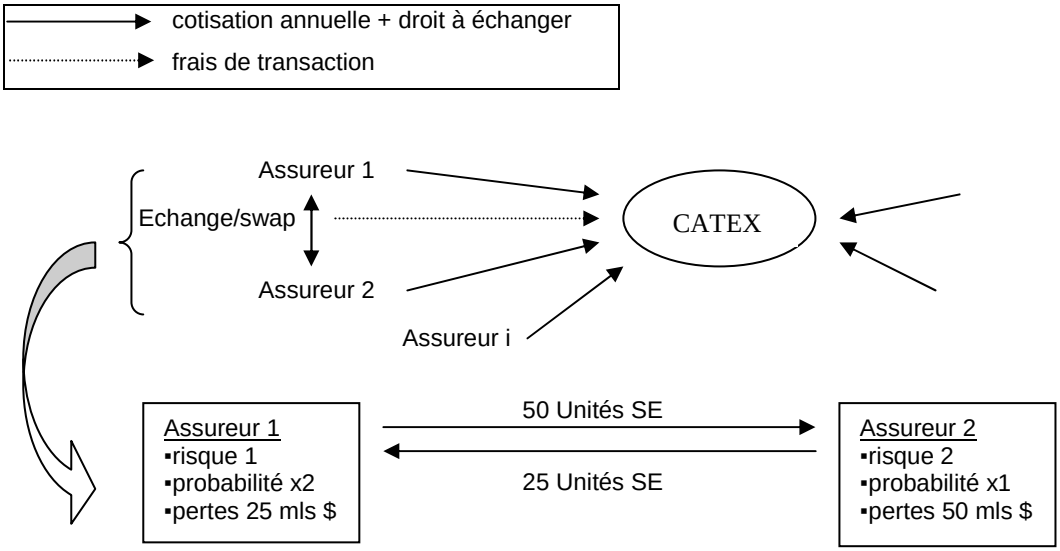


Figure 15. Fonctionnement des Swaps de portefeuille du CATEX de New York (mls=millions)

Outre les échanges de portefeuille, le CATEX est aussi pour ses participants un puissant outil de gestion des risques car il leur fournit des informations actualisées sur leur risque, sur l'évolution des techniques de transfert, ainsi que des bilans et évaluations personnalisés.

Les deux autres produits de titrisation du risque de catastrophes naturelles ont été créés par le *Chicago Board of Trade* (CBOT) aux Etats-Unis. Il s'agit des options sur indice et des obligations indexées.

Les options sur indice sont des titres financiers que les acheteurs (assureurs) acquièrent avec la possibilité de bénéficier d'une variation favorable des conditions de marché entre le moment de l'achat du titre et le moment de sa revente. La valeur de ces options dépend d'indices catastrophiques calculés par un organisme spécialisé, le *Property*

Claims Service (PCS). Ces indices, appelés, de ce fait, "indices PCS" sont exprimés en points et sont évalués selon les pertes assurées (anticipées) pour chaque catastrophe. Ils dépendent donc non seulement du risque considéré mais également des conditions du marché de l'assurance et de la réassurance de ce risque. Si les pertes engendrées par une catastrophe dépassent les pertes anticipées (et couvertes) par l'assureur détenteur de l'option, l'indice de son option augmente et il pourra alors récupérer une plus-value par la revente de son option. Cette plus-value est calculée à partir de la différence entre l'indice au moment de la revente et l'indice au moment de l'achat multiplié par un montant au comptant, aujourd'hui fixé par le CBOT à 200 $ (Godard *et alii*, 2002 ; O'Brien, 1997 ; Cox *et alii*, 2000). Elle aidera alors l'assureur à financer les réparations excédentaires qui n'étaient pas assurées par lui, du fait d'un défaut de capacité du marché de l'assurance (Froot, 2001). En revanche, si les pertes dues à une catastrophe sont inférieures aux pertes effectivement assurées, l'assureur perd alors la valeur de son option et couvre les dommages avec ses propres fonds. Les options sur indice pour couvrir le risque de catastrophes naturelles sont les *CAT options*. Leurs indices sont calculés de trois manières. La première catégorie d'indices consiste à standardiser les options en leur appliquant un indice pour une zone géographique (un ou plusieurs Etats) et une période d'exposition (trimestre ou année) données. La deuxième catégorie d'indices est calculée à partir de critères agricoles et la troisième à partir de critères climatiques[194]. Ces deux dernières catégories d'indice sont des produits dérivés non standardisés. Le marché des *CAT options*, mis en place entre 1992 et 1995, a été le premier à proposer des produits dérivés sur les événements naturels extrêmes. Il permet aux assureurs d'augmenter leur capacité auprès des marchés des capitaux qui agissent alors comme une réassurance en excédent de perte (pour les dommages excédant leur capacité). Ce marché affiche actuellement une capacité (relativement peu élevée) de 89 millions $ (Godard *et alii*, 2002).

Quant aux obligations indexées sur le risque de catastrophes naturelles (ou *cat bonds*), elles sont émises par un assureur par l'intermédiaire d'une agence spécialisée (un *Special Purpose Vehicle* (SPV)) et leur remboursement est contingent à la survenance de la catastrophe au cours d'une période donnée et à un seuil de perte déterminé par le contrat. Le SPV agit alors comme un réassureur pour l'assureur détenteur de la dette obligataire qui lui paye une prime, comme droit d'accès au marché des *cat bonds*. Le SPV se charge ensuite de

[194] On trouve parmi les indices agricoles le *Crop Yield Index* (CYI) calculé sur le rendement agrégé en maïs et en blé de certains Etats américains et parmi les indices climatiques le *Crop Water Stress Index* (CWSI) calculé à partir de la mesure de la tension de l'eau dans le sol (le "stress hydrique") (Babuziaux, 2000).

trouver des investisseurs intéressés par ces placements. La valeur des obligations est définie par un nominal (valeur faciale au moment de l'émission) et des coupons (partie de l'obligation permettant de recevoir les intérêts). Les investisseurs ont alors le choix entre différents modes de rémunération (nominal garanti et coupons risqués, nominal risqué et coupons garantis, nominal et coupons risqués). Cette rémunération est financée sur la prime perçue par l'agence. Dans quel cas la rémunération n'a-t-elle pas lieu? Si une catastrophe survient et que les pertes sont supérieures au seuil défini au préalable par le contrat, les investisseurs perdent la valeur des obligations achetées et l'assureur est indemnisé par l'agence pour réparer les dommages. Dans le cas contraire (pertes inférieures au seuil fixé ou non survenance de la catastrophe sur la période du contrat), les investisseurs perçoivent la rémunération de leur placement et l'assureur perd sa prime. Le fonctionnement de ce marché est représenté par la figure ci-dessous.

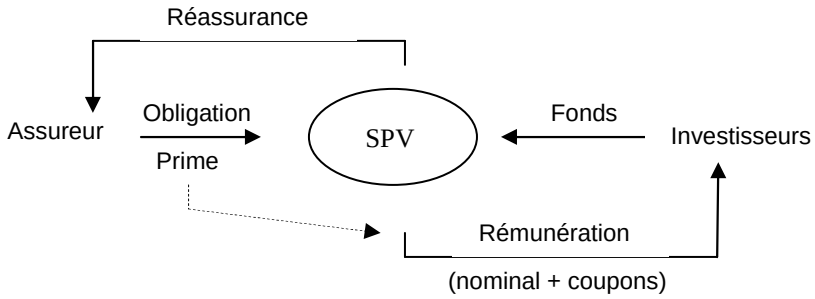


Figure 16. Fonctionnement du marché des cat bonds

Parmi les *cat bonds* américaines, on trouve par exemple les *Earthquakes Risk Bonds* pour la couverture des tremblements de terre. Ce type d'obligation est aujourd'hui également proposé en dehors des Etats-Unis dans certains paradis fiscaux comme le Luxembourg (par le Fidomes[195]). Les ouragans successifs Katrina (d'un coût de 110 milliards $) et Rita (d'un coût de 10 milliards $) de 2005 ont relancé l'intérêt de la communauté financière pour les obligations catastrophes (Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006).

Ces produits financiers constituent-ils une piste sérieuse pour une alternative à la couverture du risque nucléaire ?

[195] Fiduciaire luxembourgeoise, Fidomes Sarl a pour mission de guider la création, la gestion et la domiciliation des entreprises dans le Grand Duché de Luxembourg et de les accompagner dans l'utilisation d'instruments financiers tels que la titrisation ou la gestion de fonds d'investissements.

2.1.1.2. La titrisation : une piste pour la couverture du risque nucléaire ?

Les trois instruments financiers que sont les échanges de portefeuille, les options sur indice ou les *cat bonds* permettent de compléter les mécanismes assuranciels traditionnels qui peinent à remplir leurs obligations contractuelles face à des risques de grande ampleur[196]. Grâce au développement de ces instruments, la couverture des risques naturels a fortement augmenté aux Etats-Unis. A titre d'exemple, ils ont enregistré, à eux trois, une capacité de couverture des catastrophes naturelles de 9,1 milliards $ en 2001.

Quels sont les avantages de ces produits par rapport à l'assurance traditionnelle ? Les travaux (peu nombreux) menés sur la question avancent généralement les trois avantages suivants. Le premier avantage est relatif à l'importante capacité financière offerte par les marchés des capitaux. En effet, en tant que marchés internationaux, ils brassent chaque jour entre 50 milliards $ et 100 milliards $, ce qui représente une masse financière très intéressante pour la couverture des risques catastrophiques (Froot, 1997). Ensuite, la titrisation des risques est connue pour réduire les coûts d'agence sur le marché. Ainsi, les risques d'aléa moral et de sélection adverse sont diminués car les assureurs transfèrent, par ce biais, les risques liés à l'ensemble des pertes de l'industrie risquée et non plus qu'à ses seuls clients. C'est notamment, selon Froot (1997), la vertu de l'indexation pratiquée par le CBOT. Enfin, l'information véhiculée par le prix des titres et le niveau des indices affichés sur les marchés des capitaux est souvent perçue comme de bien meilleure qualité que les primes pratiquées par des assureurs isolés (Nell et Richter, 2004). Pour être efficaces, crédibles et attirer un maximum de porteurs, les contrats conclus sur ces marchés nécessitent, en effet, d'intensifs investissements en information de la part des agences de courtage sur chaque risque couvert. Grâce à cet effort, les titres émis peuvent être tarifés et indexés sur des valeurs proches du "vrai" risque. De ce fait, les prix des marchés financiers sont souvent de meilleurs signaux informationnels car ils reflètent mieux la qualité du risque que les primes d'assurance.

Néanmoins, ces outils présentent des limites importantes. D'abord, ils ne concernent, pour l'instant, que la couverture du risque de catastrophes naturelles. Ensuite, et c'est une des raisons de la première limite, ces marchés ne rencontrent pas le succès escompté et restent limités (moins de 3% du marché mondial de la réassurance catastrophe). Par exemple, l'émission d'obligations catastrophes représente à peine 1 milliard $ depuis 1997 (Chemarin *et alii*, 2004). Le développement limité de ces marchés s'explique par la structure coûteuse de leur fonctionnement, la méfiance et l'aversion à l'ambiguïté des investisseurs face à des

[196] Pour une revue générale de ces produits financiers, voir Lane (2002).

catastrophes dont l'occurrence et la sinistralité sont incertaines et les coûts d'apprentissage que la pratique de ces nouveaux produits requiert de la part d'investisseurs frileux. De plus, ce type de recours aux marchés financiers reste, pour l'instant, une quasi-exclusivité américaine. Notons toutefois que depuis 2002, un partenariat a été établi entre Euronext[197] et Météo France afin de mettre en place un projet similaire en Europe, appelé NextWeather, pour la couverture du risque climatique.

En 1993, Tyran et Zweifel ont proposé de transposer le schéma des options du CBOT à la couverture du risque nucléaire, à travers un système : l'ERICAM (*Environmental Risk Internalization through CApital Markets*). Dans ce système, les exploitants nucléaires émettraient des participations de risque (sous forme d'options) achetées par des investisseurs rémunérés par l'intermédiaire d'une agence. Tant qu'aucun accident nucléaire ne se produit sur l'installation de l'exploitant émetteur, l'investisseur perçoit les dividendes du titre acquis. L'agence rémunère les investisseurs sur la prime que l'exploitant lui verse au titre de la couverture. En revanche, si un accident survient, la valeur de l'option est perdue par l'acheteur et l'exploitant utilise le montant issu de la vente de l'option pour réparer les dommages. Tyran et Zweifel défendent ce système car selon eux il permettrait d'entrer en concurrence avec les *pools* d'assurance nucléaire actuels et de réduire leurs inefficacités en exerçant notamment une pression à la baisse sur les primes. En même temps, il inciterait les exploitants à améliorer la sûreté de leurs installations (par l'adoption par exemple de technologies plus sûres) car la valeur des participations dépendrait du niveau de risque et donc du niveau de sûreté.

Cependant, de notre point de vue, la perspective d'avoir recours à ce type d'alternative pour la couverture du risque nucléaire ne constitue pas une piste sérieuse. D'une part, le fait que le risque nucléaire soit encore empreint de multiples incertitudes complexifie la détermination de la valeur des options à leur juste niveau. Le prix des options émises sur un marché financier révèle de l'information sur l'offre et la demande de ce type d'options mais surtout sur le risque dont elles sont porteuses. Fixer ce prix suppose alors de disposer de suffisamment d'informations sur le risque (données historiques, probabilités, etc.) pour émettre le signal le plus juste possible aux investisseurs potentiels. Or, ce n'est pas le cas du risque nucléaire. On peut donc aisément imaginer que cette difficulté à fixer la valeur de l'option aboutisse soit à la sous-estimation du risque soit à sa surestimation. Dans le premier

[197] Bourse paneuropéenne créée en 2000 et issue de la fusion des Bourses de Paris (ParisBourse), Bruxelles (BXS), Amsterdam (AEX), Lisbonne et Porto (BVLP) et du LIFFE (*London International Financial Futures and Options Exchange*).

cas, l'option sera plus attractive mais si un accident se produit, les fonds pour réparer les dommages feront défaut. Dans le second cas, l'option sera chère et attirera alors peu d'investisseurs. D'autre part, on peut aussi envisager le cas où même une option nucléaire bon marché ne serait pas attractive du fait de la forte méfiance que pourraient manifester les acheteurs vis-à-vis de ce type de risque si particulier. Quant à l'idée que les marchés financiers permettraient de dégager une capacité de couverture élevée, elle ne peut qu'être conjecturée puisque ce système n'existe pas encore pour le risque nucléaire. Dans tous les cas, le problème de la couverture du risque ne semble pas résolu. De surcroît, les *lobbies* anti-nucléaires et l'opinion publique pourraient voir d'un très mauvais œil que la prise en charge d'un tel risque soit aux mains d'un marché volatile et incertain et faire alors pression sur le gouvernement pour bloquer le processus. La mise en place d'un système ERICAM pour le risque nucléaire nécessiterait alors de surmonter de nombreux obstacles économiques et institutionnels. C'est la raison pour laquelle nous émettons des réserves eu égard à ce type de solution dans un court ou moyen terme. Par ailleurs, l'idée de Tyran et Zweifel est restée, à notre connaissance, sans écho depuis 1993, tant chez les académiques que chez les gouvernants.

Comme l'a montré le Tableau 44 (p.234), face à ces instruments financiers, le marché de l'assurance a aussi proposé des structures alternatives. Ces structures reprennent les principes fondamentaux de l'assurance traditionnelle que sont la mutualisation et la répartition du risque, mais présentent une organisation plus adaptée à la couverture des risques catastrophiques.

2.1.2. Les structures alternatives : mutualité et partage du risque

Face au défaut de capacité financière que les marchés traditionnels de l'assurance et de la réassurance ont de plus en plus affiché pour couvrir les risques catastrophiques, des structures alternatives ont été mises en place. Ces structures, dérivées directement de l'assurance, ont en commun d'être basées sur les principes de la mutualité et de partage solidaire du risque entre membres. Contrairement aux compagnies d'assurance traditionnelles, dans ces structures, les rôles de membres, de propriétaires et de gestionnaires sont confondus. Les membres gèrent, en effet, eux-mêmes la structure et en sont aussi les actionnaires. Tous les membres exercent la même profession. Ces structures, qualifiées pour cela de "structures de groupe", sont construites autour des principes de solidarité des

membres dans la réparation des sinistres, d'égalité devant le risque et la décision et de non discrimination à l'entrée (Chemarin *et alii*, 2004). Elles sont pour la plupart des organismes à but non lucratif qui proposent des contrats à cotisations variables et permettent d'une part, le partage du risque de chaque membre entre tous et d'autre part, la redistribution des profits à l'ensemble des membres. Par rapport aux produits assuranciels proposés par les marchés financiers, ces structures alternatives sont plus largement pratiquées. Elles sont aujourd'hui utilisées pour couvrir tous les types de risques catastrophiques : les risques de catastrophes naturelles mais aussi les risques industriels, environnementaux, les risque de pollution maritime et les risques terroristes. Comme le risque nucléaire, ces risques sont des risques empreints d'incertitudes et difficilement assurables sur les marchés assuranciels traditionnels. Comme mentionné dans l'introduction générale, ils peuvent alors aussi être qualifiés de "*Big Ones*" (Cummins *et alii*, 2002) ou de "*Super-cat*" (Michel-Kerjan, 2006). On distingue deux types de structures alternatives : les captives (2.1.2.1) et les accords de partage de risque (2.1.2.2). Les accords de partage de risque présentent d'importants avantages pour la couverture des risques catastrophiques. Ils sont souvent combinés avec des fonds d'indemnisation et des partenariats public/privé (PPP). Nous montrerons en quoi ils représentent, parmi tous les instruments alternatifs à l'assurance traditionnelle, la meilleure piste de réflexion pour reconsidérer la couverture du risque nucléaire (2.1.2.3).

2.1.2.1. Les captives ou l'auto-assurance

Une captive est une société filiale d'assurance ou de réassurance créée par une ou plusieurs sociétés industrielles ou commerciales afin d'assurer les risques du groupe auquel elles appartiennent[198]. Il s'agit d'une assurance directe prise en charge par une société filiale qui joue le rôle d'assureur, en garantissant les risques uniquement supportés par les entreprises créatrices. La captive d'assurance perçoit des primes de la maison-mère et verse des indemnités en cas de sinistres, conformément au schéma classique de l'assurance. On la dénomme souvent comme une "assurance qui appartient à l'assuré" (Faure, 2004). Elle peut

[198] Dans la même lignée que les captives, on trouve les *Risk Retention* Groups. Ils sont des compagnies d'assurance-responsabilité qui sont la propriété de leurs membres. Introduits en 1986 comme un mécanisme alternatif permettant aux entreprises d'accéder à l'assurance RC, ces *Groups* sont une particularité américaine. Il s'agit d'une compagnie d'assurance-responsabilité spécialisée, constituée en société commerciale sous la forme d'une mutuelle. Il en existe actuellement quatre-vingt-seize aux USA et leur activité principale concerne les services professionnels (pour 45% d'entre eux) et le secteur de la santé (31%). Néanmoins, cette structure alternative ne suscite pas véritablement notre intérêt ici puisqu'elle ne concerne pas la couverture de risques catastrophiques. Pour plus de détails sur cet instrument, se reporter à Chemarin *et alii* (2004).

être individuelle (créée par une seule entreprise) (elle est dite "monoparentale") ou collective ("multiparentale") et peut aussi servir aux assureurs pour s'auto-assurer (Duché, 1998). La captive crée une compensation financière primaire entre ses membres qui leur sera profitable dans la mesure où les cotisations recueillies permettront de faire face aux sinistres individuels et où la sinistralité globale reste inférieure à la moyenne.

L'origine des captives est ancienne. En 1893, une société américaine, la *Commercial Credit Company*, crée l'*American Credit Indemnity of New York*, filiale ayant pour unique objet social d'assurer les risques de sa société mère. En 1899, la *National Mutual Church Insurance Company* est constituée par la *General Conference of the Methodist Episcopal Church*. En Europe, est créée la première captive d'assurance en 1920 en Grande-Bretagne, la *Imperial Chemicals Insurance Limited*, suivie en 1937 par *Blackfriars Insurance* (groupe Unilever). Cette dernière était basée en Grande-Bretagne et soumise à la réglementation générale des compagnies d'assurance. En France, le mécanisme est plutôt méconnu mais existe : en 1930, les entreprises Peugeot et Citroën avaient obtenu l'agrément pour la création d'une compagnie d'assurance. Ainsi, l'émergence réelle des captives d'assurance débute à partir des années 1960. Jusque là, seule une centaine de sociétés captives avaient été créées dans le monde. On recensait environ 1000 captives d'assurance dans le monde en 1977, 3000 en 1993 et 4800 en 2002. En France, déjà mise en oeuvre par dix des quarante plus grands groupes cotés à la bourse de Paris (dont Suez, Bouygues, Vivendi, Elf-Aquitaine et Total), cette stratégie connaît un regain d'intérêt depuis 2001. On peut citer comme exemple de captives celles du groupe Total (Omnium I&R Co Ltd) et d'Elf-Aquitaine (Alphega Insurance Ltd), toutes deux domiciliée aux Bermudes.

Dix nouveaux projets de captives sont actuellement en gestation en France (Canioni, 2002). La création de ces captives a été motivée par le durcissement du marché de l'assurance à partir des années 1970, essentiellement pour des difficultés liées à l'assurance de RC pour les entreprises de production, et par le manque de confiance des entreprises dans les autres mécanismes de transfert des risques. Elles ont généré 38 milliards $ de primes brutes en 2001 (Chemarin *et alii*, 2004).

Les avantages d'une telle structure alternative sont avant tout d'ordre fiscal et financier. En effet, une captive permet aux entreprises de profiter de la souplesse fiscale et réglementaire de certaines domiciliations exotiques. Elles sont, pour la plupart, implantées aux Bermudes, au Luxembourg, dans les îles Caïman, ou dans l'Etat du Vermont (Etats-Unis). Cette souplesse leur permet non seulement de constituer des provisions pour sinistres en franchise d'impôt mais également de bénéficier d'une gestion de trésorerie active. Une

captive revient donc concrètement à constituer des réserves déductibles d'impôts. Egalement, une captive permet de diminuer la charge globale des frais d'assurance (le coût du contrat d'assurance pouvant être ramené au minimum nécessaire pour couvrir les coûts de fonctionnement, le coût de la réassurance et d'indemnisation des sinistres). De plus, une captive limite son activité à la réassurance des risques de la maison mère. Elle assure uniquement les sinistres que celle-ci ne peut couvrir elle-même ou ne veut pas faire couvrir par un assureur traditionnel. Ces risques sont donc en général peu fréquents et maîtrisables. Outre ces avantages, le système peut aussi permettre de transformer un centre de coût en centre de profit. En effet, en cas d'accident, l'entreprise répartit le coût du sinistre sur plusieurs années au lieu de le subir en totalité brutalement. Si aucun sinistre ne survient, elle récupère son investissement. La principale difficulté pour l'entreprise mère consiste donc à évaluer la partie des risques cédée à la captive et celle qu'elle a intérêt à conserver. A ce sujet, le conseil d'un courtier est souvent souhaitable.

Néanmoins, la captive ne s'adresse pas à tous les groupes. La mise en place d'une captive est coûteuse. Par exemple, une implantation au Luxembourg suppose un capital minimal de 1,225 millions € (PriceWaterHouseCoopers, 2003). La création d'une captive affiliée à une ou plusieurs entreprises présente donc à l'évidence d'importantes difficultés d'ordre pratique qui ne la font apparaître que comme une solution de dernier recours, en particulier pour les petites et moyennes entreprises. Mais dans le cas où des échecs de marché persisteraient sur certains risques, elle peut permettre à des entreprises regroupées par secteur d'activité d'obtenir une couverture pour leurs risques tout en pouvant déduire leurs primes de leur résultat imposable.

Comme le montrent Chemarin *et alii* (2004), les captives sont fréquemment utilisées pour des risques inhérents au fonctionnement des entreprises (risques environnementaux, risques de développement), risques pour lesquels le prix de la réassurance est important car ils induisent des coût fonctionnels élevés pour les réassureurs. Par conséquent, utiliser ce type de structure pour des risques de pointe, des risques catastrophiques ou des risques difficilement prévisibles, tel que le risque nucléaire, pose d'importantes contraintes en termes de fonds propres. C'est la raison pour laquelle la majorité des groupes d'entreprises et d'assureurs ont préféré opter pour la constitution d'accords de partage de risque afin de limiter ce risque d'insolvabilité. Et c'est la raison pour laquelle les captives ne seront pas retenues pour alternative réaliste à la couverture du risque nucléaire.

2.1.2.2. Les accords de partage de risque : une solution à l'insolvabilité

Les accords de partage de risque sont une forme particulière de couverture. Ils sont souvent présentés comme pouvant fournir, comparativement aux autres instruments, une plus grande capacité financière et une meilleure appréhension du risque, en particulier catastrophique. Ils consistent en la division et la distribution d'un risque entre plusieurs partenaires. Ils peuvent prendre trois formes : les accords verticaux de partage de risque, les accords horizontaux ou les accords croisés.

Les accords verticaux de partage de risque

Les accords verticaux de partage de risque consistent en une couverture stratifiée du risque entre plusieurs acteurs. Dans ce type d'organisation, chaque acteur a alors en charge de couvrir une part bien délimitée du risque dans une structure hiérarchisée. Chaque échelon de la structure correspond à la couverture d'un montant précis de dommages par un des partenaires de l'accord.

L'exemple le plus représentatif de ce type de couverture du risque par tranches est le mécanisme de la réassurance, autrement appelée "assurance indirecte". Dans ce cas typique, un assureur (le cédant) couvre une part limitée d'un risque pour un client et se réassure, pour une part supplémentaire, auprès d'un réassureur. On a alors deux tranches de risque couvertes par deux partenaires différents, liés entre eux par un contrat de réassurance. Le niveau des échelons et la prime payée par l'assureur au réassureur dépendent du risque considéré et des clauses spécifiques au contrat[199]. Cette couverture verticale du risque est ancienne : la Cologne de réassurance (1846), la Compagnie Suisse de réassurance (1863) et la Munich de réassurance (1880) ont été les premières compagnies de réassurance et comptent encore aujourd'hui parmi les leaders mondiaux du marché. Quels sont les avantages de la réassurance ? Le marché de la réassurance est un marché mondial. Il brasse donc des montants financiers très élevés. Il permet également une diversification du risque à deux niveaux : une diversification entre plusieurs zones géographiques et une diversification entre des risques de nature différente. Dès lors, la réassurance se présente comme un mécanisme intéressant de couverture des risques catastrophiques. De plus, la réassurance limite le risque d'insolvabilité de l'assureur en lui autorisant une marge financière plus large (Borch, 1990).

[199] Il existe toute sorte de contrats de réassurance : réassurance facultative, obligatoire, proportionnelle, non proportionnelle, en excédent de sinistre, en excédent de perte…Pour plus de détails, voir Godard *et alii* (2002), pp. 398-408.

En effet, en transférant verticalement une partie du risque qu'il couvre, l'assureur peut se permettre de disposer de moins de liquidités immédiatement mobilisables et d'effectuer des placements à plus ou moins long terme avec les primes perçues de ses clients. Cela a deux conséquences bénéfiques : d'une part, l'assureur se garantit un profit ; d'autre part, allégé d'une partie de la charge, il peut pratiquer des primes plus basses. Enfin, le recours à la réassurance permet à l'assureur d'organiser plus efficacement sa diversification et la sélection de ses risques, en ne transférant au réassureur que les risques les plus menaçants (risques corrélés et risques catastrophiques). A titre indicatif, en 2000, le marché mondial de l'assurance a perçu 2443 milliards $ de primes directes (assurance vie et non-vie) et 5% de ce montant étaient reversés en primes de réassurance (Godard *et alii*, 2002).

La couverture verticale du risque peut s'organiser exclusivement sur le marché privé entre des assureurs et des réassureurs privés. Mais ce type de couverture prend de plus en plus la forme aujourd'hui d'un partenariat public/privé (PPP) dans lequel un assureur privé est réassuré par l'Etat. Dans ce cas, l'assureur paie à l'Etat une prime de réassurance comme sur le marché privé. On trouve également des accords moins formels dans lesquels des réassureurs (ou des assureurs eux-mêmes) bénéficient d'une simple garantie étatique. L'Etat ne leur fait alors pas payer de prime. Il intervient gratuitement et en dernier ressort. C'est le schéma que l'on retrouve, on l'a vu, dans la couverture du risque nucléaire dans les pays membres des Conventions AEN/OCDE. L'Etat prend en charge une part des dommages nucléaires au-delà du plafond de responsabilité de l'exploitant sans exiger de lui un quelconque paiement. Quelque soit son niveau d'intervention, la place de l'Etat dans la couverture des risques catastrophiques s'est accru depuis quelques années, notamment en Europe. Pourquoi ces partenariats se développent-ils tant ? Face à l'ampleur des dommages que les risques catastrophiques sont susceptibles de générer et à la difficulté du marché privé de les couvrir, l'intervention étatique s'est imposée dans beaucoup de pays. Elle s'est imposée d'abord pour des raisons économiques afin de pallier le risque d'insolvabilité des assureurs et réassureurs puis, pour des raisons éthiques, pour protéger les victimes d'un risque unilatéral. Pour renforcer encore cette protection, l'Etat impose de plus en plus souvent une obligation d'assurance. Cette obligation incombe soit aux entreprises générant le risque (comme pour les exploitants nucléaires) soit aux victimes elles-mêmes (comme pour l'assurance contre les catastrophes naturelles).

Cette organisation verticale de la couverture du risque se retrouve en France, avec le système d'indemnisation CatNat, mis en place par la loi du 13 juillet 1982, pour couvrir le

risque de catastrophes naturelles. L'assurance contre ce risque est obligatoire pour tous les contrats d'assurance habitation et d'assurance automobile. Système unique au monde dans son genre, CatNat est basé sur un principe de solidarité nationale : tous les citoyens et toutes les entreprises doivent payer le même taux de surcharge[200] (fixé par l'Etat par arrêté), au titre de l'assurance contre les catastrophes naturelles, et cela, quelque soit leur degré d'exposition au risque (Latruffe et Picard, 2005 ; Marcellis-Warin et Michel-Kerjan, 2001). Le fonctionnement du système CatNat est le suivant : les assureurs privés collectent une surprime sur les contrats d'assurance dommages classiques de leurs clients et se réassurent pour partie[201] auprès de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR). En contrepartie de la gestion de cette collecte, les assureurs reçoivent de l'Etat une commission. La CCR, créée en 1946, est aujourd'hui l'un des plus importants réassureurs mondiaux et appartient majoritairement à l'Etat français. De part son statut, elle bénéficie au sein du système CatNat d'une garantie illimitée de l'Etat (sous forme d'un traité de réassurance entre la CCR et l'Etat). L'Etat intervient alors comme "réassureur" en dernier ressort[202]. Notons que les risques liés au vent, à la grêle, au gel et à la neige ne sont pas inclus dans la couverture fournie par le système CatNat mais sont couverts par les assureurs privés sous la garantie *tempête*[203]. L'organisation du système Catnat est représentée sur la Figure 17.

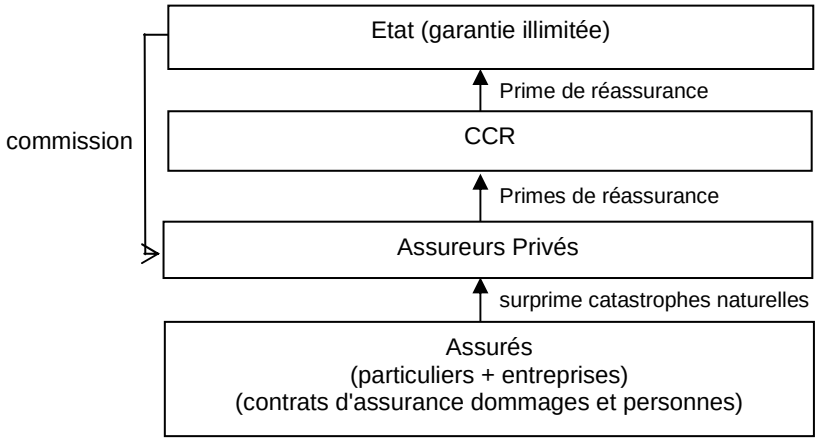


Figure 17. Le fonctionnement du système Catnat

[200] Depuis le 1er septembre 1999, ce taux s'élève à 12 % de la cotisation des contrats incendie, explosion, vol, multirisques habitation ou entreprise. Il s'élevait à 5,5% en 1982 et à 9% en 1988. Pour l'assurance automobile, il est fixé à 0,5 % de la cotisation dommages ou à 6 % de la fraction de cotisation qui correspond aux garanties vol et incendie.

[201] Cette partie est fixée par l'Etat par l'imposition aux assureurs d'un taux de réassurance minimum. Ce taux était de 40% en 1988 et il a augmenté à 50% depuis 2000 (Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006).

[202] Pour une modélisation de ce type de PPP, voir : Michel-Kerjan et Marcellis-Warin (2006).

[203] Cette garantie a été rendue obligatoire en France par la loi du 25 juin 1990 et est depuis incluse dans tout contrat habitation ou automobile de base. La distinction entre garantie Catnat et garantie tempête révèle une distinction entre événements non assurables et événements assurables (Marcellis-Warin et Michel-Kerjan, 2001).

Lors des violentes intempéries qui ont touché la France en décembre 1999, le système CatNat a été très efficace. Mis à contribution au titre d'événements autres que le vent (dégâts causés par les coulées de boue, les inondations…), il a ainsi participé à la réparation des dommages à hauteur de 380 millions €, dont une prise en charge de l'Etat de 150 millions € (Godard *et alii*, 2002). Cet exemple de partage vertical du risque couplé à un PPP est une illustration intéressante de solution alternative à l'assurance traditionnelle. Néanmoins, on pourrait objecter qu'au nom de la solidarité entre les assurés, ce système ne pratique pas de différenciation des risques. D'une part, il est inéquitable que certains assurés peu ou non exposés au risque payent une surprime identique à celle que payent d'autres assurés qui y sont exposés de manière beaucoup plus fréquente et plus significative[204]. D'autre part, la non corrélation entre le niveau de la surprime et le degré de risque subi réduit les incitations des assurés à la prévention[205]. C'est *"le talon d'Achille du système"*, selon Latruffe et Picard (2005, p.36).

Une des formes les plus originales des accords de partage de risque consiste à horizontalement le risque.

Les accords horizontaux de partage de risque

Contrairement aux accords verticaux de partage du risque, les accords verticaux correspondent non pas à une réassurance mais à une co-assurance, aussi appelée *risk-sharing*. Cette co-assurance permet à plusieurs professionnels, regroupés au sein d'une même organisation (un *pool*), de se couvrir mutuellement contre un risque.

A travers l'histoire, on trouve de nombreux accords conclus au sein de communautés ou de guildes sur une base mutuelle notamment pour les risques incendie, mort, maladie et invalidité. Ils sont apparus pour la première fois aux Etats-Unis au XIXème siècle (Skogh, 1999). Ces accords sont conclus *ex ante* entre les contractants, dans le cas où le risque considéré est inassurable sur le marché individuel privé et où seule la mise en commun des capacités de chacun en garantit une certaine couverture. S'ils concernent majoritairement des

[204] En France, seulement 11 600 communes sur 36 000 que compte le territoire sont déclarées zones inondables.
[205] Pour pallier cette limite, l'Etat a mis en place, depuis 1982, une réglementation : les Plans de Prévention des Risques naturels (PPR). Ces PPR réglementent l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions.

accords entre assureurs, ces *pools* peuvent également être constitués par les industriels eux-mêmes. En effet, la forme la plus courante de ce type de *pool* est le regroupement de plusieurs assureurs (et parfois aussi de réassureurs) spécialisés dans la couverture d'un risque spécifique. Comme le chapitre 3 l'a montré, c'est de cette manière que l'assurance du risque nucléaire est précisément organisée à travers les *pools* nationaux d'assureurs (comme Assuratome en France). Toutefois, de nombreux industriels soumis à des risques de type catastrophique ont également opté pour ce mécanisme[206]. Ainsi, s'affranchissant de tout assureur, ils se sont regroupés dans des *pools* pour couvrir ensemble un risque auquel ils sont tous exposés. Qu'ils concernant les assureurs ou les industriels, ces *pools* sont tous fondés sur les principes de mutualité et de solidarité face à la distribution et la réalisation du risque. Ils peuvent être organisés sur une base nationale ou internationale. Ils sont toutefois toujours spécialisés dans un secteur particulier, soumis à des risques bien spécifiques. Les pertes et profits de ces *pools* sont répartis également entre tous les participants.

En pratique, on trouve comme exemple de *pool* horizontal d'assureurs, le *California Earthquake Authority*, créé en 1996 aux Etats-Unis, pour couvrir le risque de tremblements de terre. Cette organisation, a permis d'augmenter la capacité financière globale des assureurs californiens et ainsi d'aider le marché de l'assurance à couvrir ce risque. Elle est, en outre, un autre bon exemple de PPP. Ce *pool* est financé par quatre tranches complémentaires :

- une contribution initiale sur les contrats habitation des assurés égale à 4 milliards $
- une réassurance privée égale à 2 milliards $
- un emprunt s'élevant à 1 milliard $
- une réassurance internationale à hauteur de 1,5 milliards $

Géré de manière publique par l'Etat de Californie, ce *pool* offre actuellement une capacité de couverture de 8,5 milliards $, financée exclusivement sur fonds privés (Charpentier, 2002 ; Rabin et Bratis, 2006).

De la même manière, la Turquie a mis en place le *Turkish Catastrophe Insurance Pool* pour couvrir ses risques naturels. La France a également suivi ce modèle, pour son risque de pollution environnementale, avec la création d'Assurpol en 1989 (anciennement GARPOL), qui a en charge de couvrir les atteintes accidentelles et soudaines à

[206] C'est le cas des propriétaires de pétroliers pour la couverture du risque de pollution maritime par les hydrocarbures, développée plus loin dans l'analyse des accords croisés.

l'environnement[207]. Assurpol regroupe une cinquantaine de membres, suivant le schéma d'Assuratome. Assurpol a une capacité de couverture s'élevant aujourd'hui à 60 millions € (Assurpol, 2006).

Quels sont les atouts de tels accords ? En référence aux *pools* d'assurance nucléaire, les avantages procurés par les *pools* ont été analysés dans le chapitre 3. D'une part, ils permettent aux membres du *pool* de regrouper leurs compétences et leurs connaissances sur le risque considéré et de bénéficier d'externalités positives d'information (Faure et Vanden Bergh, 1995). Ils développent ainsi une capacité d'expertise pointue. D'autre part, ils offrent des montants plus élevés pour la couverture du risque (Faure et Hartlief, 2003 ; Faure, 2004).

Néanmoins, nous avons vu aussi que les *pools* d'assureurs pouvaient être sources d'inefficacités, notamment s'ils se comportaient en monopoleurs (Faure et Vanden Bergh, 1990 ; Faure et Vanden Bergh, 1995). Ce faisant, il y a alors un risque qu'ils exercent une pression à la hausse sur les primes exigées de leurs assurés. C'est, entre autres raisons, pour pallier le problème des primes d'assurance excessives que certains industriels ont formé leurs propres *pools*. C'est le cas notamment des industries chimiques qui ont créé, en 1978, un *pool* de co-assurance, l'*Affiliated Chemical Group,* qui compte aujourd'hui une trentaine de membres dans le monde.

La plupart du temps, les *pools* entre assureurs ou entre industriels sont intégrés dans un système plus large dans lequel l'accord horizontal de partage de risque est couplé à un accord vertical. On parle alors d'accords croisés.

Les accords croisés de partage de risque

Les accords croisés de partage de risque sont courants. Comme nous l'avons vu, ils se retrouvent notamment dans la couverture du risque nucléaire où le risque se partage horizontalement au sein des *pools* nationaux d'assureurs et verticalement entre les exploitants et les Etats. Ces accords croisés sont fréquemment complétés de fonds d'indemnisation. Ces fonds sont créés soit directement par les entreprises qui génèrent le risque, soit à l'initiative

[207] En parallèle, la politique de protection de l'environnement s'est développée en France avec la législation sur les déchets (loi du 15 juillet 1975), sur la protection de la nature (loi du 10 juillet 1976), sur les installations classées pour la protection de l'environnement (loi du 19 juillet 1976) puis au niveau européen avec les directives Seveso I (24/06/1982), Seveso II (9/12/1996), et récemment celle du 21 avril 2004 sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux.

des Etats. Il en existe différentes sortes : fond de limitation, fond de progression, fond de garantie, fond d'indemnisation, etc[208]. Lorsqu'ils sont gérés par l'Etat, les fonds sont alors financés par l'impôt, conformément au principe du pollueur-payeur (Pigou, 1920). Ces fonds sont constitués lorsque les structures existantes ne suffisent pas et nécessitent un complément financier de couverture. C'est le cas notamment du risque de pollution maritime par les hydrocarbures et tout particulièrement du risque terroriste.

En ce qui concerne le risque de pollution maritime par les hydrocarbures, il est géré par un régime international de RC, élaboré sous les auspices de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), à la fin des années 1960. Ce régime, fondé sur des accords croisés de partage de risque (horizontaux et verticaux) prévoit une couverture en trois tranches de risque. Le financement de ces trois tranches est exclusivement privé. La Figure 18 ci-dessous représente cette couverture internationale du risque pollution par les hydrocarbures.

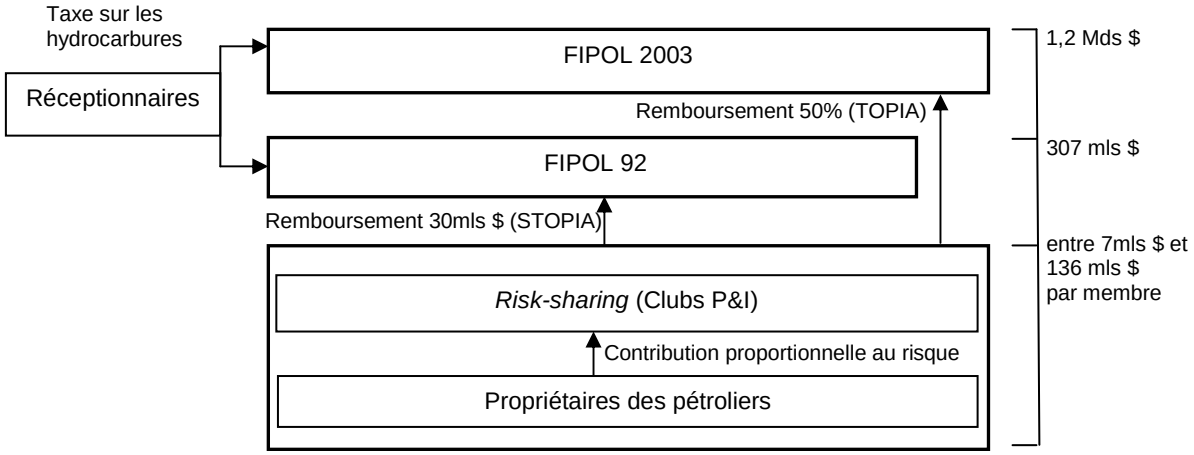


Figure 18. Couverture internationale du risque pollution maritime par les hydrocarbures (mls=millions/Mds=milliards)

La première tranche concerne la couverture de la RC de l'auteur des dommages, soit le propriétaire du pétrolier. Les principes fondamentaux régissant sa RC sont inscrits dans une Convention internationale[209], datant de 1969 et révisée en 1992. En vertu de celle-ci, la RC du propriétaire du pétrolier en cas de pollution est, comme pour le risque nucléaire, objective, canalisée et limitée[210]. Les propriétaires sont également contraints par la loi d'assurer leur RC. Pour cela, le choix a très tôt été porté sur une solution originale : 95% des propriétaires se co-assurent à travers un *pool*, l'*International Group of Protection and Indemnity Clubs*. Ce *pool* a

[208] Pour une description détaillée de chacun de ces fonds, voir Faure et Hartlief (1996) et Faure (2004).
[209] Dite *"Convention internationale sur la RC pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures"*.
[210] Pour un rappel de définitions de ces concepts, voir chapitre 1.

une dimension internationale et regroupe treize *pools* nationaux, dits "Clubs P&I" (pour "*Protection & Indemnity"*). A titre d'exemple, on trouve *The American Club* ou *The Shipowners' Club* aux Etats-Unis, le France P&I en France ou encore *The London Club* au Royaume-Uni. Ces *pools* existent, pour les plus anciens, depuis la seconde moitié du XIXème siècle et consistent en des mutuelles non-lucratives auxquelles tous les propriétaires de navire cotisent pour s'assurer conjointement contre le risque qu'ils génèrent. Cette première tranche de risque est donc fondée sur un accord horizontal de partage de risque ou *risk-sharing*. En vertu de cet accord, les profits et les pertes sont partagés entre les membres et leurs cotisations sont ajustées chaque année selon les besoins (Bongaerts et Debièvre, 1987 ; Faure et Heine, 1991 ; Faure 2004). Les différents clubs P&I sont solidaires entre eux au cas où un club n'aurait pas les ressources suffisantes pour réparer les dommages d'un accident. Les cotisations servent uniquement à couvrir les dépenses, les coûts et les réparations annuelles du *pool*. Elles reflètent donc, aussi précisément que possible, les coûts globaux de fonctionnement du *pool*, sans capture de profit. De plus, ces cotisations ne sont mobilisées qu'en cas de pollution maritime. Au contraire de l'assurance traditionnelle, elles sont donc potentiellement récupérables par les participants à l'accord. Cet élément est un avantage supplémentaire en faveur du *risk sharing* entre industriels comparativement à l'assurance ou aux *pools* d'assureurs. En vertu de la Convention de 1992, les propriétaires des navires doivent assurer leur RC entre 7 millions $ et 136 millions $, selon leur jauge[211] (FIPOL, 2007). Leur plafond de RC, et, de là, leur contribution individuelle au *pool*, sont donc reliés au risque[212].

Les deux autres tranches de risque sont prises en charge par deux fonds d'indemnisation, appelés respectivement FIPOL 92 (Fonds international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures), créé par une seconde Convention signée en 1992 dite "portant création du Fonds", et Fonds Complémentaire (ou FIPOL 2003), instauré par un protocole adopté en 2003. Ces fonds sont des organisations intergouvernementales gérées par l'ONU et basées à Londres. Le FIPOL 92 est un fonds financé par des contributions annuelles prélevées sur les hydrocarbures transportés par mer et

[211] Les plafonds de RC sont divisés en 3 catégories : 7 millions $ pour les navires dont la jauge brute ne dépasse pas 5000 unités, 7 millions $ plus 955$ par unité de jauge supplémentaire pour les navires dont la jauge brute est comprise entre 5000 et 140 000 unités et 136 millions $ pour les navires dont la jauge brute dépasse 140 000 unités (FIPOL, 2007).

[212] Cet aspect du *pool* P&I est crucial. L'alternative proposée plus loin à la couverture du risque nucléaire s'en inspire.

payées par les réceptionnaires[213] de ces hydrocarbures. Chaque réceptionnaire verse un montant donné par tonne d'hydrocarbures reçus. Le montant à percevoir est fixé chaque année par l'Assemblée du Fonds (organe directeur suprême composé de représentants de tous les Etats Membres). Les contributions peuvent varier sensiblement d'une année sur l'autre. Les gouvernements n'ont aucune responsabilité pour ces versements, à moins qu'ils ne l'aient volontairement assumée. Ce fonds augmente ainsi la couverture à 307 millions $ par sinistre. A l'instar des clubs P&I, les ressources mises dans le fonds ne sont mobilisées qu'en cas de pollution maritime et donc potentiellement récupérables.

Quant au FIPOL 2003, il fournit la couverture d'une troisième tranche de risque et se base sur le même type de financement que le FIPOL 92. Toutefois, le système de contributions du Fonds complémentaire diffère de celui du Fonds de 1992 en ce que, aux fins du versement des contributions, on considèrera qu'un minimum d'1 million de tonnes d'hydrocarbures donnant lieu à contribution aura été reçu chaque année dans chaque Etat Membre. L'adhésion à ce Fonds est facultative et est ouverte à tout membre du FIPOL 92. Il relève la couverture totale du risque de pollution maritime par les hydrocarbures à 1,2 milliards $ par sinistre.

Enfin, notons que le *pool* des pétroliers a mis en place, en 2006, un dispositif d'indemnisation volontaire établi par deux accords, l'Accord STOPIA 2006 (*Small Tanker Oil Pollution Indemnification Agreement*) pour les navires-citernes de petite dimension[214], et l'Accord TOPIA 2006 (*Tanker Oil Pollution Indemnification Agreement*) pour les autres navires-citernes. Ces deux accords, entrés en vigueur le 20 février 2006, sont juridiquement contraignants. Ils prévoient qu'après la réparation des dommages par les deux Fonds d'indemnisation, ceux-ci se feraient rembourser par les propriétaires des pétroliers une partie des sommes versées aux victimes. Ainsi, l'accord STOPIA 2006 prévoit que le propriétaire responsable de la pollution rembourse au FIPOL 92 un montant maximum porté, à titre volontaire, à 30 millions $ pour les navires-citernes de petite dimension et l'accord TOPIA 2006 que le Fonds complémentaire est en droit de recevoir du responsable le remboursement de 50 % des indemnités versées. Aujourd'hui, 117 Etats sont membres de la Convention de 1992 sur la RC, 101 Etats ont ratifié la Convention de 1992 portant création du Fonds et 21 Etats ont ratifié le Protocole de 2003 (FIPOL, 2007).

---

[213] Ces réceptionnaires sont définis comme *"toute personne qui a reçu, dans des ports ou terminaux d'un État Membre du Fonds concerné, plus de 150 000 tonnes de pétrole brut ou de fuel-oil lourd (hydrocarbures donnant lieu à contribution) à l'issue de leur transport par mer au cours de l'année civile considérée"* (FIPOL, 2007, p.4).

[214] d'une jauge brute égale ou inférieure à 29 548 tonnes.

A la suite des naufrages de l'Erika en 1999 au sud de la Bretagne (37 000 tonnes de pétrole perdues) et du Prestige en Espagne en 2002 (70 000t), le FIPOL 92 semble avoir fait ses preuves, en termes d'indemnisation[215]. Pour les victimes du naufrage de l'Erika, il a déjà versé 182 millions € et s'est engagé à prendre en charge la totalité des dommages. Pour le naufrage du Prestige dont le coût s'élève à plus d'1 milliard €, le FIPOL a déjà indemnisé les victimes à hauteur de 15% et est en train de réviser ce taux à la hausse. Bien entendu, les procédures d'indemnisation sont toujours trop longues pour les victimes d'une marée noire et de nombreux efforts sont entrepris à l'ONU pour les accélérer. De plus, même si les FIPOL sont une solution intéressante, ils atteignent leurs limites financières lorsque plusieurs catastrophes maritimes ont lieu successivement dans un temps très proche. Ainsi des réflexions sont menées pour élargir encore l'assiette des contributions.

Ce système stratifié de couverture du risque de pollution maritime par les hydrocarbures est *"intéressant car il a su combiner judicieusement les atouts d'une institution internationale (diplomatie) (…) et de l'assurance privée"* (Godard *et alii*, 2002, p.441). Il a su également s'affranchir de l'intervention des Etats dans la couverture du risque et les contributaires du système sont tous des acteurs de la chaîne du transport pétrolier et maritime. L'internalisation des coûts du risque par les auteurs du dommage est donc maximisée, et de là, les objectifs de prévention et d'indemnisation. Les récents Accords STOPIA et TOPIA sont, par ailleurs, venus renforcer ces impératifs. Par une combinaison entre contributions volontaires et taxation, exclusivement financées par les auteurs du dommage, ce système est donc une excellente source d'inspiration pour la couverture d'autres risques catastrophiques. Notons que la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis, présentée dans les chapitres 1 et 2, relève également de cette même volonté de faire supporter la charge de la couverture par l'auteur du risque, à travers un accord horizontal de partage de risque entre exploitants[216]. Etant donné leurs avantages, les clubs P&I, comme le *Price-Anderson Act,* serviront de modèles pour l'alternative proposée plus loin à la couverture actuelle du risque nucléaire.

[215] Un autre pétrolier, le Tasman Spirit sous pavillon pakistanais, a fait naufrage en 2003, déversant 25 000 tonnes de pétrole dans la mer. N'étant cependant pas membre du FIPOL, le gouvernement pakistanais n'a pu se retourner que contre l'assureur de l'armateur. A ce jour, le montant de l'indemnisation n'est toujours pas connu. De plus, les dommages de l'Erika et du Prestige datant d'avant 2003, ils n'ont pu bénéficier d'une indemnisation de la part du FIPOL 2003.

[216] Cet accord concerne la seconde tranche de risque mise en place par le *Price-Anderson Act*. Son fonctionnement et son financement sont détaillés plus loin.

Concernant le risque terroriste, les attentats du 11 septembre 2001, aux Etats-Unis, représentent un véritable point de rupture pour l'assurance contre ce type d'événements. On parle, depuis ces attentats, de "terrorisme de masse" (Michel-Kerjan, 2006) et beaucoup d'assureurs et de réassureurs ont exclu ce risque de leur offre de couverture. Dès lors, les gouvernements ont dû concevoir des mécanismes alternatifs nouveaux pouvant faire face à des dommages terroristes de grande ampleur. Certains, avant-gardistes, avaient mis en place ces mécanismes bien avant 2001. Tous basés sur un PPP, ces mécanismes ont privilégié plus que toute autre option, celle des accords croisés de partage de risque entre assureurs au sein de *pools*. Privés ou publics, ces *pools* n'ont, en revanche, pas toujours le même statut.

En France, par exemple, le choix a été fait de créer, en 2002, un *pool* de co-réassurance constitué d'assureurs et de réassureurs, complété par la CCR. Ce *pool*, le GAREAT (Gestion de l'Assurance et de la Réassurance contre les Attentats Terroristes), combine à la fois partage horizontal et vertical du risque. Ce *pool* couvre les dommages causés par des actes terroristes aux biens matériels de ses membres (majoritairement des entreprises, des propriétaires ou gestionnaires de grands ensembles immobiliers et les collectivités locales) à travers trois tranches de couverture : d'abord, les assureurs du *pool* prennent conjointement en charge le risque à hauteur de 400 millions € ; ensuite, ils se réassurent auprès de grands réassureurs du *pool* (tels que Munich Re et Swiss Re) à hauteur de 1,65 milliards € ; enfin, au-delà, le *pool* bénéficie d'une garantie illimitée de l'Etat, par l'intermédiaire de la CCR (Michel-Kerjan, 2005). Pour cette garantie, l'Etat perçoit 10% des primes collectées par le *pool*. Le GAREAT s'inspire du système CatNat, présenté plus haut, et est financé sur le même principe de solidarité. Quant à la couverture des dommages subis par les particuliers du fait d'attaques terroristes, elle relève d'une part, depuis 1990, du FGTI (Fond de Garantie aux victimes d'actes Terroristes et autres Infractions), pour leurs dommages corporels (financé par un prélèvement sur les contrats privés d'assurance-dommages) et d'autre part, de leur assurance-dommages classique pour leurs dommages matériels. La Figure 19 représente l'organisation du GAREAT.

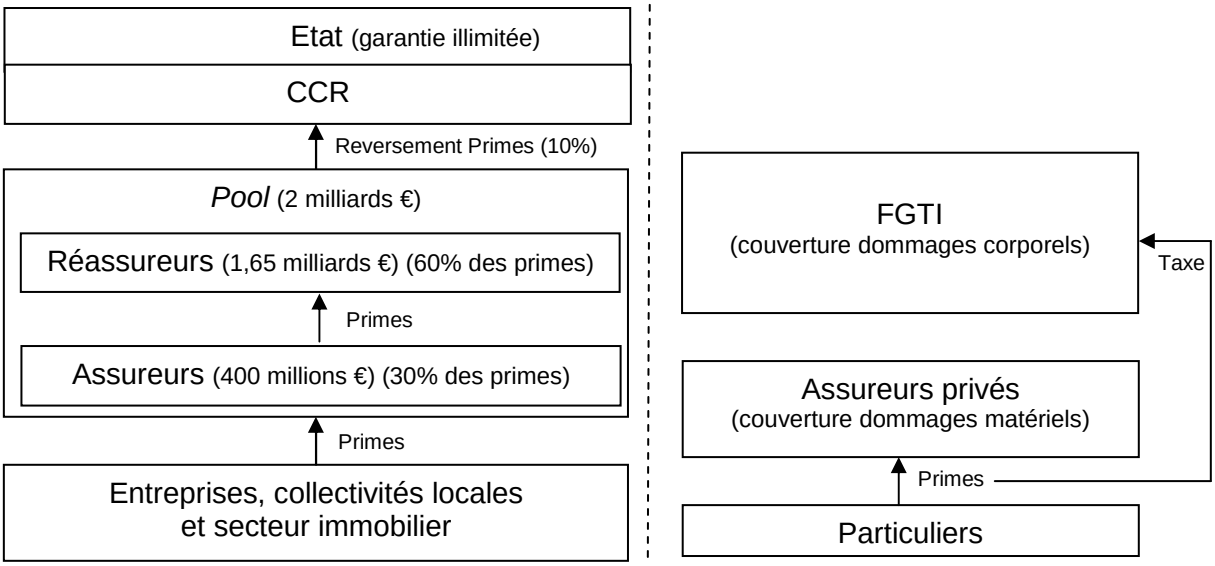


Figure 19. Fonctionnement du pool de co-réassurance français, le GAREAT

Le risque terroriste se distingue des autres risques technologiques et industriels, et plus généralement des autres risques catastrophiques, pour deux raisons majeures. Premièrement, lors d'une attaque terroriste, l'auteur du dommage (rarement identifiable) ne peut faire l'objet ni d'une internalisation des coûts *ex ante* ni d'une obligation d'indemnisation *ex post*. C'est donc aux victimes potentielles de s'assurer contre ce type de risque, bien qu'elles n'aient aucune influence sur sa réalisation. Deuxièmement, la distribution de l'information pour ce risque est très particulière car seul l'Etat est en possession de l'information. De surcroît, il ne peut la partager avec les assureurs et doit la garder secrète pour des raisons de sécurité nationale (Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006). Pour ces deux raisons, la question ne consistait donc pas à se demander si l'Etat devait intervenir dans l'indemnisation des dommages terroristes mais plutôt de savoir comment le marché assuranciel privé et l'Etat pouvaient conjuguer leurs actions pour fournir une couverture adéquate de ce risque.

Au Royaume-Uni, un autre type d'accords croisés de partage de risque a été mis en place pour couvrir le risque terroriste. Huit ans avant les événements du 11 septembre 2001, et suite aux attentats de Londres de 1993, le Royaume-Uni a créé le premier *pool* privé de réassurance en Europe : *Pool* Re (*Pool* Reinsurance Company Limited). Ce *pool*, qui compte 220 membres, a en charge de réassurer les assureurs privés pour leur couverture de dommages aux biens résultant d'actes terroristes au-delà d'une rétention de 100 millions £ par événement ou 200 millions £ par an (Atkins, 2002). A l'origine, les garanties de *Pool* Re étaient limitées à l'incendie et l'explosion. Elles furent étendues en 2002. Fondé également

sur un PPP, *Pool* Re a pour originalité d'inclure les dommages causés aux installations nucléaires et d'avoir constitué un accord de rétrocession avec l'Etat, selon lequel, si les ressources du *pool* sont insuffisantes pour couvrir la totalité des dommages (excédent 1 milliard £), le Trésor paiera les réparations complémentaires. En vertu de cet accord, le Trésor perçoit une prime du *pool*. Comme dans le GAREAT, l'Etat agit donc ici comme un véritable réassureur. De surcroît, il est prévu qu'à terme, *Pool* Re rembourse au Trésor les sommes avancées pour ces réparations complémentaires (Atkins, 2002).

Du même type que *Pool* Re, on trouve, en Allemagne, Extremus AG, un *pool* d'assureurs privés, créé en 2002. Ce *pool* couvre les dommages aux biens de ses assurés pour 1,5 milliards € et a recours à deux réassurances : une réassurance privée (à hauteur 1,5 milliards €) et une réassurance fédérale (pour 10 milliards €). Ici aussi, l'Etat joue le rôle de réassureur et la couverture totale fournie par Extremus AG pour le risque terroriste s'élève ainsi aujourd'hui à 13 milliards € (Geisler et Waddell, 2002). L'adhésion au *pool* n'est pas obligatoire et les dommages subis par les particuliers sont assurés par les assurances-dommages traditionnelles.

Enfin, les Etats-Unis, pays le plus touché jusqu'à présent par le terrorisme en termes de pertes, ont voté une loi, après 2001, le *Terrorism Risk Insurance Act* (TRIA) en 2002, qui instaure un accord croisé de partage de risque entre assurés (franchise), assureurs (10% au-delà de la franchise) et Etat (90%) à hauteur de 100 milliards €, mais sans aucune mutualisation. Ce partage concerne chaque contrat privé d'assurance-dommages (Kunreuther et Michel-Kerjan, 2006 ; Michel-Kerkan et Pedell, 2006 ; Michel-Kerkan et Pedell, 2005). Une réflexion est menée actuellement sur un possible mécanisme complémentaire de couverture : la mise en place de "*terror bonds*" sur les marchés financiers à l'image des *cat bonds* présentés précédemment (Kunreuther et Michel-Kerjan, 2005 ; Mahul et Wright, 2003). La faisabilité de ce mécanisme n'est cependant pas encore prouvée.

A l'image du FGTI et des FIPOL, il existe d'autres illustrations de fonds d'indemnisation pour les risques industriels qui représentent l'unique montage pour la couverture de ces risques, en dehors de tout accord de partage de risque.

Les fonds uniques d'indemnisation

Parmi ces fonds uniques, on peut citer en premier lieu, le FIVA (Fonds d'Indemnisation pour les Victimes de l'Amiante), créé en 2001 en France pour garantir une

indemnisation intégrale des victimes de l'amiante. Aux Etats-Unis, à la suite des nombreux procès de victimes ayant été exposées à de l'amiante, au cours de leur activité professionnelle dans les années 1980, de nombreuses entreprises ont fait faillite, ne tenant plus sous le poids des indemnisations à verser. De ce fait, la question de la responsabilité dans le cas des contaminations à l'amiante s'est posée en France. La prise de décision a été lente tant le dossier était complexe et en 2001, le FIVA fut créé. Le FIVA est un établissement public national à caractère administratif placé sous la tutelle des ministres chargés de la sécurité sociale et du budget. Il est co-financé par l'Etat à hauteur de 11% (dotation annuelle) et par les entreprises (branche accidents du travail et maladies professionnelles de la sécurité sociale) à hauteur de 89%. Par ce mode de financement, la responsabilité est partagée entre l'Etat qui a tardé à légiférer et les entreprises qui ont généré le risque. Aujourd'hui, ces dotations ont permis au fonds de réunir une capacité financière de 1,6 milliards €. Concernant les indemnisations versées au titre des procès, elles s'élèvent, depuis la création du fonds, à 1 milliard € (FIVA, 2006). Le FIVA est donc un nouvel exemple de PPP. On peut aussi mentionner le FGAO (Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires de dommages) que la France a mis en place en 2003, après l'explosion de l'usine AZF de Toulouse en 2001, afin de garantir l'indemnisation des victimes (non-assurées) de catastrophes technologiques.

Dans le cadre de l'indemnisation des dommages dus à la pollution environnementale, un domaine où les assureurs refusent plus que jamais d'assurer, on peut enfin citer les fonds américains créés par le CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*) et le SARA (*Superfund Amendments and Reauthorization Act*), entrés en vigueur en 1980 et 1986. Ces fonds ont pour objectif d'encadrer la décontamination des sols endommagés par des déchets ou des substances toxiques produits par l'industrie, ainsi que les indemnisations qui y sont relatives. Ils sont plus connus sous le nom de *Superfund* et sont financés par une taxe prélevée sur les industries pétro-chimiques dans le but de faire supporter le coût du risque à ses auteurs, et ainsi de leur faire internaliser le risque pollution. A eux deux, les CERCLA et SARA ont permis de réunir une capacité financière de 8,5 milliards $[217].

De ces structures alternatives à l'assurance traditionnelle, quels enseignements peut-on tirer concernant la couverture du risque nucléaire ?

[217] Source : US Environmental Protectionagency.

2.1.2.3. Quels enseignements pour la couverture du risque nucléaire ?

La couverture des risques naturels, industriels et terroristes sont fondées sur des mécanismes alternatifs à l'assurance traditionnelle. Ces mécanismes ont le mérite d'offrir une capacité financière et une internalisation des coûts du risque plus importante qu'elle ne l'était avant leur existence. Pourtant, comme le risque nucléaire, ces risques sont des risques imprévisibles et potentiellement catastrophiques. Aussi, pouvons-nous les classer, au regard de l'analyse de l'assurabilité d'un risque effectuée dans le chapitre 1, dans la catégorie des risques *inassurables*. L'analyse du régime de RCN en vigueur en Europe a montré qu'un des arguments avancés par les rédacteurs du régime pour en justifier les principes, était précisément que le risque nucléaire n'était pas assurable. Le recours à un mécanisme alternatif à l'assurance traditionnelle, tel que le *pool* Assuratome, était donc cohérent avec cet argument. Toutefois, le chapitre 3 a montré que ce type de *pool* était coûteux et inefficace. Lorsque l'on compare les mécanismes alternatifs existants pour d'autres risques catastrophiques et les *pools* d'assurance nucléaire, deux différences sont frappantes.

Premièrement, ils présentent un écart de couverture important. Rappelons que la couverture du risque nucléaire s'élève aujourd'hui à 381 millions € par accident dans les pays membres des Conventions AEN/OCDE et qu'elle s'élèvera prochainement, avec l'entrée en vigueur des Protocoles de 2004, à 1,5 milliards €. En particulier, lorsqu'on compare ce chiffre à celui du coût d'un accident nucléaire majeur (évalué entre 10 milliards € et 100 milliards €), on est frappé par leur différence de niveau. En comparaison avec les autres risques catastrophiques, on s'aperçoit que la couverture du risque nucléaire en Europe est beaucoup plus faible. Le tableau suivant permet cette comparaison. Le système français Assuratome est donné comme exemple représentatif de la couverture du risque nucléaire dans les pays européens.

Risque	Système	Montant total de couverture	Montant total pris en charge par le marché	Montant total internalisé par l'auteur du dommage (si identifiable)	Réassurance étatique	Forme
Risques naturels	*Swaps*, *CAT options* et *cat bonds*	9,1Mds $	9,1Mds $	-	Non	Marchés financiers
	California Earthquake Authority	8,5Mds $	8,5Mds $	-	Non	*Pool* / PPP
Risques industriels	Clubs P&I FIPOLs	1,2Mds $	1,2Mds $	1,2Mds $	Non	*Risk-sharing* + fonds
	FIVA	1,6Mds €	1,4Mds €	1,4Mds €	Non	Fonds / PPP
	CERCLA SARA	8,5Mds $	8,5Mds $	8,5Mds $	?	Fonds
	Assurpol	60mls €	60mls €	60mls €	Non	*Pool*
Risque terroriste	GAREAT	2Mds €	2Mds €	-	Oui	*Pool* / PPP
	Pool Re	1Mds£	1Mds£	-	Oui	*Pool* / PPP
	Extremus G	13Mds €	13Mds €	-	Oui	*Pool* / PPP
	TRIA	100Mds €	10Mds €	-	Oui	PPP
Risque nucléaire	**Assuratome**	**381mls €/ 1,5Mds €**	**91mls € / 700mls €**	**91mls / 700mls €**	**Non**	***Pool* / PPP**
	Price-Anderson Act	10,76Mds $	10,76Mds $	10,76Mds $	Non	*Pool* / *Risk-sharing*

Tableau 46. Exemples de couverture des risques catastrophiques dans le monde (mls=millions/Mds=milliards)

Deuxièmement, les autres systèmes de couverture permettent une internalisation des coûts du risque par l'auteur du dommage beaucoup plus importante qu'elle ne l'est actuellement pour le risque nucléaire. C'est particulièrement le cas pour les mécanismes basés sur un accord horizontal de partage du risque entre industriels (ou *risk-sharing*), tels que les Clubs P&I ou le *Price-Anderson Act*, et les systèmes avec réassurance étatique (risque terroriste). Par ces mécanismes, ce sont les auteurs du dommage qui supportent l'intégralité des coûts de couverture (sauf dans le cas du TRIA). Pour une première tranche de risque, ils prennent en charge eux-mêmes tout ou partie des coûts de couverture en se co-assurant. Puis, pour compléter, ils ont la possibilité de se réassurer auprès de l'Etat. Ainsi, l'Etat d'une part, n'intervient qu'en dernier ressort et d'autre part, est lié aux auteurs du dommage par un contrat de réassurance. Par ce contrat, l'internalisation des coûts du risque se poursuit également pour la seconde tranche de risque puisque les auteurs du dommage supportent le coût de l'intervention de l'Etat. Cette internalisation intégrale des coûts du risque participe donc de l'efficacité du système. Or, nous l'avons vu, ce n'est pas le cas de la

couverture du risque nucléaire en Europe, où l'Etat finance gracieusement une partie des réparations. Le tableau précédent présente aussi les différences d'internalisation des coûts du risque entre les différences systèmes. Pour la France par exemple, sur une couverture totale de 381 millions €, les exploitants nucléaires n'internalisent aujourd'hui que 91 millions €, soit seulement 24% de la totalité des coûts.

En conclusion, si le risque nucléaire est inassurable au sens traditionnel du terme, au même titre que les risques naturels, industriels et terroristes, nous pouvons néanmoins raisonnablement considérer qu'il puisse être couvert par un mécanisme alternatif à l'assurance; et ce, dans une mesure plus importante qu'il ne l'est aujourd'hui. Pour distinguer ces mécanismes alternatifs de l'assurance traditionnelle, il sera considéré par la suite que le risque nucléaire, bien qu'*inassurable*, est *couvrable*. Le terme *couvrabilité* (emprunté de l'anglais *coverability*) est introduit pour insister sur le fait que l'inassurabilité du risque nucléaire ne restreint nullement sa capacité à être couvert par des mécanismes innovants. La couvrabilité d'un risque a donc un sens plus large et admet certains amendements aux critères stricts d'assurabilité[218]. En conséquence, l'*assurabilité* du risque nucléaire est invalidée si on entend ce terme dans son sens traditionnel mais sa *couvrabilité* est vérifiable par le recours à un schéma alternatif de couverture.

Puisque le marché de l'assurance des risques catastrophiques a évolué et propose désormais des solutions alternatives intéressantes, les risques spéciaux, comme le risque nucléaire, ne doivent donc pas être considérés comme un facteur de rétrécissement du domaine de l'assurabilité, mais plutôt comme un facteur de transformation de ce domaine par la recherche de solutions originales et fondées sur la complémentarité des acteurs économiques. Or, même dans leurs plus récents amendements, les Conventions internationales AEN/OCDE n'ont exploré aucune alternative de couverture possible pour le risque nucléaire. La suite de ce chapitre se propose donc de mener cette recherche. De tous les exemples cités, c'est l'accord horizontal de partage du risque entre industriels (ou *risk-sharing*) qui paraît le plus efficace, par son aptitude à la fois à élargir la capacité compensatoire et à renforcer l'internalisation des coûts du risque. C'est donc de ce mécanisme que s'inspirera notre alternative à la couverture du risque nucléaire en Europe. Il présente, en effet, de nombreux avantages.

[218] Pour une analyse de ces critères, se reporter au chapitre 1.

2.2. Assurance vs. Risk-sharing

Lorsqu'on cherche à couvrir les risques de grande ampleur, la difficulté vient principalement du fait que la capacité des marchés est limitée. Ce qui fait du risque nucléaire un risque unique en son genre est qu'il peut prendre une dimension non seulement catastrophique mais également cataclysmique. Selon la définition donnée dans l'introduction générale d'un cataclysme par Mahul et Wright (2003), le risque nucléaire est donc capable, par sa réalisation, de déstabiliser les réserves de l'industrie de l'assurance et de la réassurance et d'en menacer la survie.

Dès lors, pourquoi le partage horizontal du risque entre industriels répond-il mieux à la contrainte de capacité que l'assurance et les autres instruments de couverture face à des risques cataclysmiques ? Pourquoi notre choix porte-t-il sur ce mécanisme ? Le *risk-sharing* est conceptuellement très différent de l'assurance. Skogh (1999) résume ces différences en disant : *"The two contractual forms, mutual sharing and insurance, differ in an important respect: mutual sharing is an agreement on sharing of losses* ex post, *while insurance is a transfer of risk at a price fixed* ex ante*"*[219] (p.510). Ces deux mécanismes ne sont donc pas fondés sur les mêmes principes et n'ont pas les mêmes implications en termes d'incitations et de fonctionnement. Au-delà de son atout compensatoire, le partage horizontal du risque entre industriels a de nombreux autres avantages. Il est, en effet, plus efficace que l'assurance, et que les *pools* d'assureurs, en termes d'information requise (2.2.1.), de contrôle (2.2.2.) et de coûts (2.2.3.). Ces avantages appuieront ainsi notre choix de substituer un *risk-sharing* entre exploitants aux *pools* actuels d'assureurs nucléaires.

2.2.1. L'avantage informationnel du *risk-sharing*

Le choix institutionnel entre assurance et accord de partage de risque dépend essentiellement de la prévisibilité du risque considéré. A cet égard, le *risk-sharing* est souvent présenté comme un mécanisme efficace pour couvrir les risques de grande ampleur et empreints d'incertitudes. Comme Mahul et Wright (2003) le reconnaissent eux-mêmes, il existe peu de travaux traitant des accords de partage de risque efficaces lorsque le capital disponible est connu pour être limité. Ces accords ont notamment été analysés par Michel-

[219] *"Les deux formes contractuelles, le partage mutuel de risque et l'assurance, diffèrent sur un point important : le partage mutuel est un accord de partage des pertes* ex post, *alors que l'assurance est un transfert de risque à un prix fixé* ex ante*".*

Kerjan et Marcellis-Warin (2001 ; 2006), Mahul et Wright (2003), Skogh (1999), Faure et Hartlief (1996 ; 2003) et Kornhauser et Revesz (1989). Comme nous l'avons vu pour la pollution maritime par les hydrocarbures ou encore pour la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis, ce mécanisme consiste à regrouper, au sein d'un *pool*, des industriels soumis au même risque. Le *risk sharing* est donc un accord *ex ante* de partage du risque ayant pour principe la co-assurance.

Le premier des avantages du *risk-sharing* sur l'assurance est d'ordre informationnel. Comme Faure et Hartlief (1996) le montrent : *"The key question (…) is which system is better equipped with the information regarding the potential risks, so that these may be controlled in the best way"*[220] (p.323). A cet égard, le *risk-sharing* est préférable car il ne requiert pas le même type d'information à propos du risque que l'assurance (Michel-Kerjan et Marcellis-Warin, 2006 ; Skogh et Wu, 2005 ; Faure 2004 ; Skogh, 1991, 1998, 1999). L'assurance exige une information précise sur le risque afin que l'assureur puisse calculer la prime d'assurance. L'assureur a besoin de données statistiques fiables sur le risque qu'il couvre, c'est-à-dire d'évaluations exactes sur ses assurés, le montant des dommages, les événements possibles et les probabilités correspondantes à ces événements. Ces informations sont indispensables à la détermination du prix le plus juste possible pour la prime d'assurance. Plus l'incertitude est faible ou plus elle est maîtrisée, plus facile est le calcul de la prime. L'assurance nécessite donc l'existence d'une information actuarielle *ex ante*. Cela a été démontré dans le chapitre 3. Un problème se pose alors lorsque l'assureur fait face à un risque difficilement prévisible, comme le risque nucléaire, pour lequel les données statistiques font défaut et les probabilités sont rares. Le *risk-sharing* permet précisément de contourner ce problème puisqu'il requiert moins d'information sur le risque. En effet, il n'est pas nécessaire pour les participants au *risk-sharing* de connaître exactement les probabilités d'occurrence de la réalisation du risque pour évaluer leurs contributions individuelles (Skogh et Wu, 2005). La seule information dont ils ont besoin concerne le degré de risque généré par chacun des membres de manière à les différencier. Pour ce faire, ils peuvent par exemple s'appuyer sur leurs différences technologiques, leur respect des normes de sûreté ou encore la taille de leurs installations. Par exemple, pour la couverture du risque pollution maritime par les hydrocarbures, nous avons vu que les Clubs P&I différencient le risque de chaque pétrolier en fonction de sa jauge. De la même manière, aux Etats-Unis, les primes rétrospectives prises en charge par les exploitants

[220] *"La question clé (...) est de savoir quel système est le mieux pourvu en termes d'information sur les risques potentiels, de manière à ce que ces derniers puissent être contrôlés de la meilleure façon possible".*

pour la seconde tranche de couverture du risque nucléaire sont calculées en fonction de leur nombre respectif de réacteurs. La quantité d'hydrocarbures transportés d'un côté, et le nombre de réacteurs exploités de l'autre, sont des exemples de critères de différenciation du risque. Ces deux éléments sont retenus comme reflétant et influençant le degré de contribution au risque des industriels concernés. On dit qu'ils sont "reliés au risque" (*risk-related*). De plus, dans un *risk-sharing* ce sont les auteurs du risque eux-mêmes qui évaluent et différencient le risque et non un assureur extérieur. Aussi, la différenciation peut-elle s'avérer plus facile et plus juste si elle est effectuée par ceux qui possèdent l'information sur le risque. Dans le cas d'un risque imprévisible, l'industriel est souvent le mieux informé et donc mieux à même d'effectuer cette différenciation que l'assureur. En effet, dans cette situation, l'assureur risque de subir une asymétrie informationnelle qui fera obstacle à la détermination d'une prime reflétant le vrai risque.

Ainsi, l'efficacité de l'accord de *risk-sharing* dépendra en grande partie de la capacité de ses participants à estimer les coûts du risque au niveau individuel et, de là, au niveau collectif. Cet avantage informationnel du *risk-sharing* sur l'assurance est indéniable et renforce donc notre argumentation en sa faveur. Une différenciation efficace du risque est l'une des conditions fondamentales pour le succès d'un accord de partage de risque horizontal. Les critères de différenciation retenus pour l'alternative à la couverture actuelle du risque nucléaire seront énoncés plus loin.

L'asymétrie informationnelle se prononce également en faveur d'un *risk-sharing* car par rapport à l'assurance, le contrôle des membres y est renforcé.

2.2.2. Le *risk-sharing* : un meilleur contrôle des membres

Un deuxième avantage du *risk-sharing* sur l'assurance (et les *pools* d'assureurs) consiste en un meilleur contrôle du comportement des assurés vis-à-vis de la prévention des accidents. Cet atout est particulièrement évident lorsque les participants à l'accord sont nombreux. En effet, il est plus difficile pour l'assureur de contrôler le comportement de ses assurés parce que d'une part, il risque de subir une asymétrie informationnelle sur le risque que ces derniers génèrent effectivement et d'autre part, parce qu'un nombre élevé de clients rend ardu leur contrôle simultané. Au contraire, dans un accord horizontal de partage de risque, les industriels sont soumis au même type de risque et ont souvent une capacité d'expertise plus qualifiée et une connaissance plus précise de celui-ci que l'assureur ou un

autre acteur du marché qui n'appartient pas à l'industrie. Les industriels génèrent eux-mêmes le risque. Ils sont donc souvent dans une bien meilleure position pour le mesurer, le limiter et le couvrir. L'avantage informationnel du *risk-sharing* sur l'assurance se retrouve à nouveau ici. Cet avantage est particulièrement vrai pour les risques complexes et empreints d'incertitudes, comme le risque nucléaire. Ainsi, étant donné que l'assureur ou le *pool* d'assureurs subissent un défaut d'information, ils risquent de faire davantage face aux problèmes d'aléa moral ou de sélection adverse[221] que les membres d'un accord de *risk-sharing*. En effet, ses membres sont solidairement responsables en cas d'accident et ont donc tout intérêt à prévenir les accidents pour minimiser leur coût individuel. Ils sont donc spontanément incités à la fois à s'auto-discipliner en matière de précaution et à se contrôler réciproquement. L'accord de partage de risque permettra ainsi de mettre en place une responsabilité collective de sûreté, plus complexe à mettre en œuvre par un assureur (Skogh, 1999 ; Faure, 2004). De plus, ce contrôle accrû permet d'éviter la capture d'un profit par un des membres puisque aucun d'entre eux n'exerce un pouvoir discrétionnaire sur les autres. Enfin, le contrôle s'exerce aussi sur la solvabilité des membres. Puisque les membres sont solidairement responsables en cas d'accident, ils ont une incitation à vérifier que tous soient solvables pour éviter que les uns aient à contribuer plus pour compenser l'insolvabilité des autres. Le contrôle et la prévention seront d'autant plus élevés que les membres seront en nombre restreint.

Le fait que les membres prennent en charge eux-mêmes la différenciation et le contrôle du risque a aussi un impact positif sur le coût du *risk-sharing*.

2.2.3. L'avantage coût du *risk-sharing*

Le troisième avantage du *risk-sharing* sur l'assurance, et non des moindres, concerne son coût. En échange de la couverture du risque, l'assurance implique le paiement *ex ante* d'une prime par les assurés. Cette prime n'est pas récupérable par les assurés, que le risque se soit ou non réalisé. La prime d'assurance est donc un coût fixe irrécouvrable pour eux (un *sunk cost*), même en cas de non survenance d'un accident. Au contraire, le *risk-sharing* ne requiert pas le paiement d'une telle prime mais une contribution individuelle de la part de chaque membre. Cette contribution (ou cotisation) est calculée selon les critères de différenciation du risque retenus. Les membres sont tous soumis aux mêmes critères de

[221] Ces concepts ont été présentés et analysés dans le chapitre 1.

différenciation. Seul le poids de ces critères dans la contribution financière diverge en fonction de leur contribution individuelle au risque. Le statut de ces contributions diffère fortement de celui d'une prime d'assurance[222]. Quelque soit leur statut, les contributions présentent l'atout majeur d'être récupérables. Cette option peut être exercée dans deux situations : soit en cas de cessation d'activité d'un des exploitants membres du *risk-sharing*, soit en cas de non survenance d'un accident sur l'année. Dans ce second cas, les contributions individuelles peuvent être réutilisées l'année suivante pour couvrir le risque. En conséquence, ce système est beaucoup moins coûteux pour les exploitants que le recours aux *pools* d'assurance[223].

Les contributions dans un *risk-sharing* permettent donc aux industriels d'une part, de ne pas subir des coûts de couverture et des gaspillages trop lourds chaque année, et d'autre part de pouvoir les distribuer entre membres. A cet égard, les contributions sont souvent plus attractives que les primes d'assurance.

En dépit de cet avantage, d'aucuns avancent souvent qu'il est moins coûteux pour un industriel d'avoir recours à l'assurance que de couvrir lui-même le risque (Kornhauser et Revesz, 1989 ; Skogh, 1999). En effet, le principe de mutualisation de l'assurance, analysé dans le chapitre 1, consiste à faire payer l'assuré une somme inférieure au montant de dommages couverts, ce qui n'est pas le cas dans l'auto- ou la co-assurance. En effet, si un industriel veut couvrir sa responsabilité à hauteur d'un montant X sur ses propres fonds, il devra verser (ou réserver ou garantir) ce même montant X. En revanche, s'il a recours à l'assurance, son assureur exigera de lui le paiement d'une prime inférieure à X. De plus, parce qu'il est fondé sur le principe du regroupement, le *risk-sharing* peut engendrer des coûts de fonctionnement internes supérieurs à ceux d'un assureur. Ces coûts sont imputables au fait que le *risk-sharing* peut subir certains gaspillages et coûts supplémentaires simplement du fait qu'il a une structure concentrée (Faure, 2004 ; Faure et Hartlief, 1996 ; Skogh, 1989). Ces coûts sont similaires à ceux des bureaucraties. La question fondamentale est alors celle du nombre optimal de participants. L'école du *Public Choice* a, en effet, montré que plus les bureaucraties comptaient de membres, plus elles pouvaient souffrir d'un effet-taille entraînant des coûts de fonctionnement croissants (Niskanen, 1971). Il risque donc d'en être de même pour un accord de partage de risque comptant de nombreux industriels. L'étendue de l'accord sera donc un déterminant important de son efficacité. Au contraire, un assureur subira des

[222] La section 3 de ce chapitre analyse les trois statuts possibles de ces contributions.
[223] Le coût du *risk-sharing* est calculé dans la section 3 de ce chapitre.

coûts de transaction et des coûts administratifs inférieurs du fait qu'il mutualise ses risques sur un très grand nombre de clients (l'industrie entière) et qu'il est un spécialiste de la différenciation des risque. Eu égard à ces différents coûts, il apparaît alors plus intéressant pour l'industriel de couvrir sa RC par le biais de l'assurance. Toutefois, nous avons montré dans le chapitre 3 que cette situation était vérifiable seulement sur un marché assuranciel concurrentiel (Faure, 2004). En effet, sur un tel marché, les primes concurrencées sont poussées à la baisse et reflètent mieux le risque et les assureurs minimisent leurs coûts internes. Or, le marché de l'assurance nucléaire n'est pas concurrentiel. Les primes payées par les exploitants, particulièrement en France, sont, de ce fait, excessivement élevées et ne reflètent pas le "vrai" prix de la couverture du risque. Egalement, parce qu'il est cartellisé, ce marché subit des coûts de nature bureaucratique dus à sa taille. Enfin, parce qu'elles sont récupérables, les contributions au *risk-sharing* sont souvent moins coûteuses que les primes d'assurance.

En résumé, l'assurance est plus efficace que le *risk-sharing* à deux conditions : 1) si le marché de l'assurance est concurrentiel 2) si l'assureur dispose d'une information actuarielle sur le risque lui permettant le calcul de primes adéquates. Or, ces deux conditions ne sont pas remplies par l'assurance actuelle du risque nucléaire. Par conséquent, le principe des contributions dans le cadre d'un *risk-sharing* entre exploitants nucléaires est plus efficace que le paiement de primes d'assurance aux *pools* existants. D'une part, elles sont moins coûteuses et reliées au risque. D'autre part, sommées, elles peuvent fournir une capacité compensatoire beaucoup plus élevée que les *pools* d'assurance. En particulier, cette capacité sera fortement augmentée si la couverture du risque est mise en place au niveau européen et non plus au niveau national.

Ce bilan avantages/coûts se prononce donc clairement en faveur de cette alternative. Reste à en détailler les principes et les modalités de fonctionnement qui en fondent l'efficacité.

3. Un partage horizontal du risque entre exploitants nucléaires européens

Devant la diversification des instruments désormais disponibles pour couvrir les risques catastrophiques et difficilement prévisibles et l'intérêt de plus en plus reconnu des accords de partage de risque, notre attention s'est naturellement portée sur cette alternative pour la couverture du risque nucléaire. Plus précisément, nous proposons dans cette section

que le risque nucléaire soit désormais couvert dans le cadre d'un accord horizontal de partage de risque entre exploitants nucléaires à l'échelle européenne. Adapter un tel mécanisme à la couverture du risque nucléaire implique de repenser intégralement le système actuellement en place. Cela suppose de reconsidérer les bases mêmes sur lesquelles le système était construit jusqu'alors et d'en bâtir un nouveau plus approprié aux contraintes de coûts et de capacité. Le mécanisme alternatif de couverture proposé ici a donc pour objectif de se substituer aux *pools* actuels d'assurance nucléaire, trop coûteux et inefficaces. Il a été montré plus haut que ce mécanisme a déjà fait ses preuves concernant la couverture d'autres risques catastrophiques. De plus, le modèle américain de couverture du risque nucléaire, fondé en partie sur un *risk-sharing* entre exploitants nucléaires, servira de référence pour l'analyse. La possibilité d'appliquer ce même type d'organisation pour les exploitants européens est ici examinée.

En dépit de ces expériences, pour ce qui est de la couverture du risque nucléaire en Europe, la proposition faite ici est novatrice. D'une part, elle offre une structure alternative aux *pools* d'assurance. D'autre part, elle est de dimension européenne. Dans la littérature, la remise en cause des mécanismes actuels de couverture du risque nucléaire est une question quasi-inexplorée. En dehors de la proposition de Tyran et Zweifel (1993) d'avoir recours aux marchés financiers, proposition présentée plus haut et écartée, seulement deux travaux ont soulevé la question. La présente analyse a été précisément motivée par ceux-ci : les travaux de Faure et Skogh (1992) et plus récemment de Faure et Vanden Borre (2007), dans lesquels la question d'une alternative à la couverture du risque nucléaire en Europe est examinée. Dans Faure et Skogh (1992), les auteurs proposent d'étendre la couverture du risque nucléaire à l'échelle internationale à travers l'élargissement du champ d'application des Conventions AEN/OCDE. Ils avancent ainsi l'idée d'un partage international du risque nucléaire à l'image des clubs P&I présentés plus haut. Dans Faure et Vanden Borre (2007), une analyse économique comparative du modèle américain et des Conventions AEN/OCDE est effectuée. En filigrane, se dessine la possibilité de s'inspirer du premier modèle pour améliorer le second. Néanmoins, aucun de ces travaux n'entre véritablement dans le détail concret de l'alternative, notamment concernant son financement possible. Quelles seraient les modalités pratiques d'application d'un *risk-sharing* nucléaire européen ? Comment serait-il financé et par qui ? Quels en seraient les coûts ? Quelles conditions indispensables devrait-il remplir pour garantir sa faisabilité et son efficacité ? Bien que soulevées, toutes ces questions n'ont trouvé jusqu'alors que des réponses théoriques. Cela n'ôte nullement la pertinence de ces travaux. Ils ont le mérite d'être les précurseurs en la matière. Toutefois, pour envisager une alternative réalisable en Europe, un pas supplémentaire doit être franchi. Ainsi, parce qu'elle

offre une analyse détaillée et concrète de l'application possible d'un *risk-sharing* entre exploitants nucléaires en Europe, cette section fait écho aux travaux existants et s'inscrit dans leur suite directe.

L'analyse procédera en trois étapes. D'abord, elle consistera à présenter le fonctionnement de ce système alternatif de couverture (3.1), puis ses modalités de financement (3.2). Ensuite, elle examinera les conditions de faisabilité d'un tel système en Europe (3.3).

3.1. Le fonctionnement du risk-sharing *nucléaire européen*

Il n'existe, à l'heure actuelle, qu'un seul modèle de partage horizontal du risque nucléaire dans le monde : le modèle américain mis en place par le *Price-Anderson Act*. L'alternative proposée ici s'inspire de ce modèle dont les principes de fonctionnement seront rappelés (3.1.1.). Toutefois, le modèle américain présente aussi des faiblesses qui seront écartées. Nous montrerons, enfin, en quoi la dimension européenne de notre alternative est justifiée et quelles en sont les hypothèses (3.1.2.).

3.1.1. Le *Price-Anderson Act* : un modèle pour l'Europe ?

Le système américain de couverture du risque nucléaire est unique au monde[224]. Les Etats-Unis n'appartiennent à aucune Convention internationale et ont leur propre système. Ce système a été mis en place dans le cadre du *Price-Anderson Act* qui régit la RC des exploitants nucléaires américains. Signé en 1957, ce texte a été plusieurs fois révisé. Sa dernière modification date de 2005. Le système américain de couverture du risque nucléaire est très original. Son fonctionnement est présenté sur la figure suivante.

[224] Ce modèle a été présenté dans le chapitre 1. Nous ne rappelons donc ici que les principes généraux de son fonctionnement.

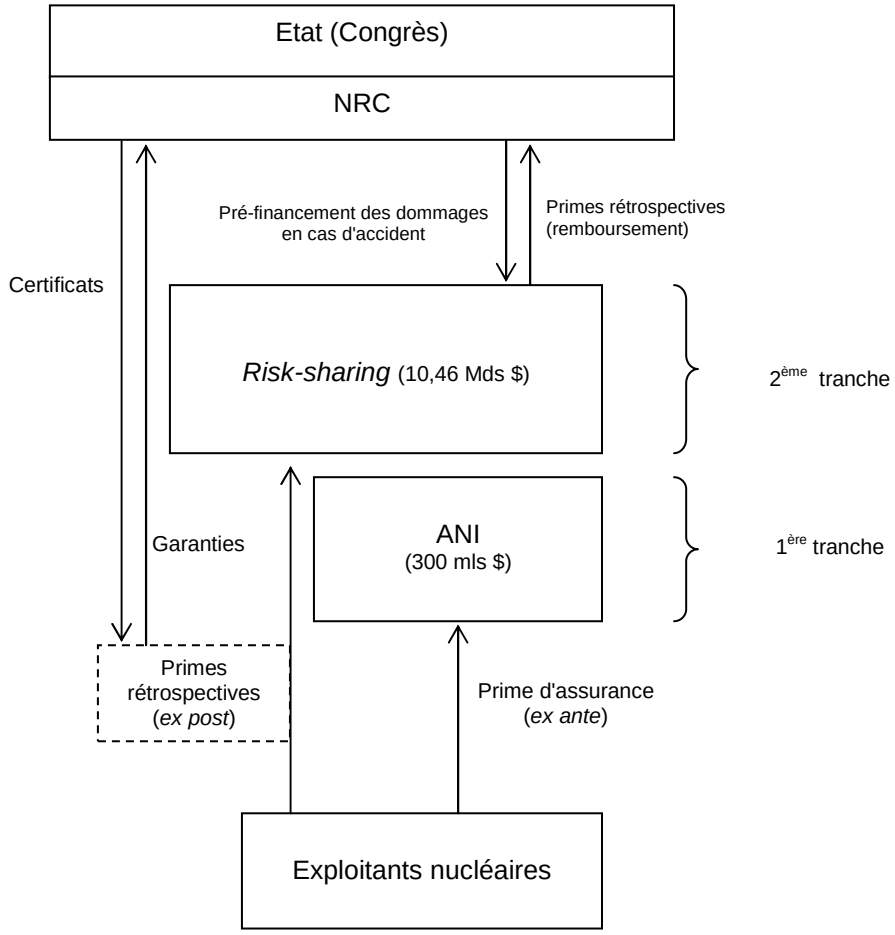


Figure 20. La couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis en 2007 (mls=millions/Mds=milliards)

Ainsi, rappelons que les exploitants nucléaires américains couvrent leur RC en cas d'accident nucléaire sur leurs installations en deux tranches. Une première tranche de risque est couverte individuellement par chacun des exploitants nucléaires[225] par le biais de l'assurance. Cette assurance est offerte par le *pool* d'assureurs ANI (*American Nuclear Insurers*) à hauteur de 300 millions $/accident. Cette première tranche est donc similaire à la première tranche financée par les exploitants nucléaires européens membres des Conventions AEN/OCDE. La structure du *pool* ANI est comparable à celle d'Assuratome en France. Au-delà de cette première tranche, les exploitants nucléaires américains couvrent conjointement une seconde tranche de risque par le biais d'un accord horizontal de *risk-sharing* conclu entre eux. Ce *risk-sharing* fonctionne, comme tous les autres accords horizontaux de ce type, sur la base de la mutualité et de la solidarité des membres face au risque. C'est la révision de 1975 du *Price-Anderson Act* qui a introduit cette tranche supplémentaire. Outre sa structure inédite pour le risque nucléaire, l'originalité de ce *risk-sharing* réside principalement dans son mode

[225] Les exploitants nucléaires américains sont actuellement au nombre de vingt-six et tous privés, ce qui les distingue notamment de la structure du marché électronucléaire français étudiée dans le chapitre 3.

de financement. En effet, rappelons que cette seconde tranche de risque est financée par les exploitants nucléaires, par le biais de primes rétrospectives. Le niveau de ces primes est fixé par la NRC. Elles s'élèvent actuellement à 100,6 millions $/réacteur/an[226]. En pratique, ces primes ne sont versées qu'*ex post* et c'est la NRC qui pré-finance les dommages en cas d'accident. Les exploitants nucléaires lui versent ensuite les primes pour la rembourser, par l'intermédiaire du *pool* ANI qui est en charge de les collecter (à hauteur de 15 millions $/an). Au total, la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis s'élève actuellement à 10,76 milliards $/accident (pour 104 réacteurs) (9 milliards €).

L'intérêt porté au système américain de couverture du risque nucléaire est justifié pour trois raisons. Premièrement, sa capacité financière totale est beaucoup plus élevée que celle actuellement proposée dans les pays membres des Conventions AEN/OCDE. Elle est, en effet, 118 fois plus élevée qu'en France par rapport au plafond actuel de RC de l'exploitant (91 millions €) et encore 15 fois plus élevée par rapport au futur (700 millions €). Deuxièmement, la couverture du risque nucléaire aux Etats-Unis est exclusivement financée sur fonds privés. Les exploitants nucléaires supportent eux-mêmes la charge de cette couverture. Bien que la NRC pré-finance certains dommages, *in fine*, c'est aux exploitants qu'incombe l'obligation de réparer, que ce soit par le biais de l'assurance ou par le biais des primes rétrospectives. Enfin, ce modèle est particulièrement attractif parce qu'il induit une internalisation des coûts du risque très importante de la part des exploitants. En effet, étant donné que ces derniers subissent l'intégralité des coûts de couverture du risque à hauteur de 10,76 milliards $, ils internalisent de ce fait le risque à cette même hauteur. Comme le chapitre 1 l'a montré, cette exigence est cruciale pour maximiser la prévention et l'indemnisation. De plus, faisant écho à l'analyse du chapitre 2, plus la couverture prise en charge par les exploitants est élevée, moins ils bénéficient d'une subvention implicite. A cet égard, l'analyse a montré que, pour le scénario le plus optimiste en matière de dommages nucléaires majeurs (10 milliards €), cette subvention était très faible pour les exploitants nucléaires américains[227]. Dans ce cas, on peut considérer leur responsabilité civile comme étant quasi-illimitée.

A quoi ces avantages sont-ils imputables ? Premièrement, nous avons vu dans le chapitre 1 que les évolutions respectives des modèles américain et AEN/OCDE ont divergé au

[226] soit 95,8 millions $ plus une surprime de 5% pour couvrir les coûts légaux.
[227] Voir Tableau 21, chapitre 2, p.146.

cours du temps. Le *Price-Anderson Act* a substitué progressivement le financement privé de la couverture du risque au financement public pour accroître l'internalisation et la prévention du risque par les exploitants (Faure et Vanden Borre, 2007). De plus, les primes rétrospectives des exploitants nucléaires sont fonction du nombre de réacteurs qu'ils exploitent. De cette manière, les primes sont reliées au risque et donc différenciées. A cet égard, le chapitre 1 a montré combien la différenciation du risque était fondamentale pour maximiser la prévention du risque. Ainsi, il est frappant de voir que, contrairement au système américain, les Conventions AEN/OCDE ne différencient nullement le risque nucléaire. En effet, le plafond de RC qu'elles imposent est unique pour tous les exploitants nucléaires des pays membres, quelque soit leur nombre de réacteurs ou leur capacité nucléaire installée. Cela n'a pas d'incidence bien sûr, à production égale, pour les pays dans lesquels chaque réacteur est exploité par un exploitant différent. Dans ce cas, le plafond de dommages assurés s'applique à chacun des exploitants et donc à chacun des réacteurs. Le montant total de couverture est alors égal au plafond multiplié par le nombre de réacteurs. Etant donné que la probabilité d'accident augmente avec le nombre de réacteurs en fonctionnement, cette différenciation est indispensable. En revanche, dans un pays où tous les réacteurs nucléaires sont exploités par un seul exploitant, comme c'est le cas en France, la non-différenciation du risque pose problème. L'exploitant unique va, en effet, couvrir sa RC à hauteur du plafond mais pour l'ensemble de son parc nucléaire et non par tête de réacteur. Pourtant, sa probabilité d'accident est plus élevée que s'il n'en exploitait qu'un seul. Cette non-différenciation a pour conséquence que la couverture totale du risque nucléaire sera la même pour un exploitant qui n'a qu'un réacteur à sa charge et pour EDF qui en exploite cinquante-huit. Ce problème a déjà été soulevé plus haut. A cet égard, l'analyse a montré que le déficit de prévention engendré par les Conventions AEN/OCDE devait être compensé par une puissante réglementation de sûreté. Bien entendu, malgré la différenciation du risque qu'ils pratiquent, les exploitants nucléaires des Etats-Unis sont aussi soumis à des normes de sûreté très strictes. Même avec une différenciation du risque appropriée, en matière de sûreté nucléaire, la réglementation est indispensable tant il existe encore des incertitudes techniques liées au risque. L'objectif de la différenciation du risque nucléaire n'est donc pas de remplacer la réglementation de sûreté mais d'inciter chaque exploitant à l'internalisation et la prévention de *son* risque (et donc de réduire au maximum l'aléa moral) en le mettant face à ses propres responsabilités. Notons que cet effet positif est renforcé aux Etats-Unis par le contrôle mutuel que peuvent exercer les exploitants nucléaires, du fait de leur participation au *risk-sharing* de leur seconde tranche de risque.

En somme, la première tranche de risque du système mis en place par le *Price-Anderson Act* n'est pas intéressante pour l'analyse menée dans ce chapitre, dans le sens où elle est similaire à la tranche de risque actuellement prise en charge par les exploitants des pays membres des Conventions AEN/OCDE. De ce fait, l'analyse des inefficacités des *pools* d'assurance nucléaire effectuée dans le chapitre 3 s'applique également au *pool* américain ANI. C'est, au contraire, la seconde tranche de risque qui nous intéresse ici, c'est-à-dire le *risk-sharing* entre exploitants. Le Tableau 47 permet d'établir une comparaison générale des systèmes américain et AEN/OCDE de couverture du risque nucléaire.

	Conventions NEA /OCDE	*Price-Anderson Act*
Responsabilité Civile	***Points communs***	
	Responsabilité objective Responsabilité limitée	
	Différences	
	Canalisation juridique	Canalisation économique
	Plafond* : 91 mls€ (actuel) / 700 mls€ (futur)	Plafond : 9 Mds€
Couverture du risque	***Montage***	
	1ère tranche de risque : *Pools* d'Assurance**	1ère tranche de risque : *Pool* d'Assurance
	2ème tranche de risque : Etat	2ème tranche de risque : *Risk-sharing*
	3ème tranche de risque : Etats membres	-
	Financement	
	Fonds privés* : 91mls€ / 700 mls€	Fonds privés : 9 Mds€
	Fonds publics : 290 mls € / 1,2 Mds €	Fonds publics : 0
	Capacité financière totale	
	381 mls€ * / 1,5 Mds€	9 Mds€
Rôle de l'Etat	Assistance gratuite	Pré-financement par la NRC

* Pour la France ** plus réserves pour le cas français

Tableau 47. Comparatif des systèmes Price-Anderson Act et AEN/OCDE (mls=millions/Mds=milliards)

Ce mécanisme américain de couverture de la seconde tranche de risque nucléaire est donc séduisant. Il servira de référence pour l'alternative proposée ici. Comment appliquer un tel système en Europe ?

3.1.2. Vers une responsabilité collective de l'industrie nucléaire européenne

Les vertus du *risk-sharing* entre exploitants par rapport à l'assurance (ou aux *pools* d'assurance) ne sont plus à démontrer. Dès lors, pourquoi mettre en place ce type de mécanisme à l'échelle européenne et non pas à l'échelle nationale ? La mise en oeuvre d'une couverture du risque nucléaire à l'échelle européenne est un changement radical de perspective dont l'application exige de nombreuses adaptations : nouvelles responsabilités des exploitants, nouvelles charges, transformation des comportements et désengagement des Etats. Néanmoins, ces adaptations sont nécessaires et l'élargissement de la couverture du risque nucléaire à l'Europe se justifie pour plusieurs raisons (3.1.2.1.). Construit sur des hypothèses solides et cohérentes, ce montage pourra alors ouvrir la voie vers une responsabilité collective de l'industrie nucléaire européenne face au risque d'accident (3.1.2.2.).

3.1.2.1. Pourquoi un risk-sharing *nucléaire à l'échelle européenne ?*

La dimension européenne de la couverture du risque nucléaire trouve quatre justifications : les caractéristiques identiques du risque généré et subi par les pays européens, l'ampleur potentiellement transfrontalière des dommages d'un accident nucléaire, le regroupement de ces pays sous un régime commun de RCN et l'existence d'un rapprochement politico-économique déjà très fort.

Premièrement, les pays nucléarisés d'Europe génèrent tous le même type de risque. Même si la capacité nucléaire installée et le nombre de réacteurs divergent selon les pays, la production d'électricité d'origine nucléaire y est soumise à la même complexité technique et y est empreinte des mêmes incertitudes. Ainsi, uniformément, les exploitants nucléaires font face aux mêmes contraintes : un risque potentiellement catastrophique et difficilement imprévisible.

Deuxièmement, les pays européens sont très proches géographiquement. Or, les accidents nucléaires ont raison des frontières politiques et peuvent causer des dommages transfrontaliers. L'accident de Tchernobyl en 1986 en est l'exemple le plus clair : survenu en Ukraine, le nuage radioactif, poussé par le vent d'est, s'est ensuite dirigé vers les pays d'Europe occidentale pour atteindre et dépasser les frontières françaises. Les radiations se sont propagées sur plus de 2500 km et ont causé en Europe de l'Ouest la mort de centaines de

personnes sur une génération. La portée étendue des dommages d'un accident nucléaire doit donc se poser comme une préoccupation commune à tous ces pays.

Troisièmement, la majorité des pays européens sont parties aux Conventions AEN/OCDE[228]. Les exploitants nucléaires exerçant sur leur territoire sont donc tous soumis aux mêmes règles de RCN. Le chapitre 1 a montré que les Conventions AEN/OCDE traduisait le souci commun de garantir une gestion équitable des accidents pouvant impliquer plusieurs territoires simultanément. Cette dimension internationale se justifiait précisément par les raisons qui viennent d'être invoquées : la menace d'un même type de risque pouvant causer des dommages transfrontaliers. Aussi, si la RCN est régie au niveau international, pourquoi la couverture du risque ne l'est-elle pas également ? Nous avons vu plus haut qu'il existe plusieurs exemples de couverture internationale des risques catastrophiques, comme celui du risque de pollution maritime par les hydrocarbures des clubs P&I. La coexistence d'une gestion internationale de la RCN et d'une gestion nationale de la couverture du risque fait dissonance. Les justifications qui ont abouti au premier choix ne se retrouvent pas dans le second, et y sont mêmes desservies. Par ailleurs, une grande partie des pays européens sont signataires de la (même) Convention sur la sûreté nucléaire. Mise en place sous l'égide de l'AIEA le 17 juin 1994 (peu après l'accident de Tchernobyl), cette Convention a été présentée dans le chapitre 2. Par conséquent, pour assurer une plus grande logique du système global et ainsi garantir sa pérennité et son efficacité, l'extension internationale, en l'occurrence européenne, de la couverture du risque nucléaire est incontournable.

Enfin, cette gestion européenne du risque nucléaire viendrait renforcer le passé politico-économique commun déjà très fort entre les pays européens. En effet, ces pays, en particulier les pays occidentaux, sont liés, depuis cinquante ans, par de multiples accords au niveau économique et juridique, signés dans le cadre de l'Union Européenne (Convention européenne des Droits de l'homme, Traité de Rome, Euratom, Accords de Schengen, Traité de Maastricht, Traité d'Amsterdam, Convention européenne sur la RC en cas de dommages causés par des véhicules automoteurs, etc.).

De ces quatre points de vue, la mutualisation du risque généré par les exploitants nucléaires à l'échelle européenne est justifiée. Au sein d'un accord horizontal de partage de risque, les exploitants nucléaires seraient conjointement responsables et financeraient la réparation des dommages et l'indemnisation des victimes d'un accident sur une base solidaire

[228] Voir Tableau1, chapitre 1, p.44

et non plus nationale et individuelle. Cette mutualisation européenne est donc à la fois plus adaptée aux contextes géographique et politico-économique de ces pays et plus efficace.

Dès lors, sur quelles hypothèses cette mutualisation repose-t-elle ?

3.1.2.2. Les hypothèses du modèle de risk-sharing *nucléaire européen*

L'objectif du *risk-sharing* européen proposé ici est double : maximiser l'internalisation des coûts du risque par les exploitants nucléaires et maximiser les montants disponibles pour l'indemnisation des victimes et la réparation des dommages. Il repose sur quatre hypothèses fondamentales.

H1: Une alternative aux *pools* d'assurance nucléaire

Le *risk-sharing* proposé ici a pour vocation de se substituer aux *pools* d'assurance nucléaire auxquels les exploitants des pays membres des Conventions AEN/OCDE ont recours pour couvrir leur RC. Cela signifie que le *risk-sharing* vient remplacer la première tranche de risque mise en place par ces Conventions, et non la deuxième tranche, comme dans le modèle américain. Mettre en place un *risk-sharing* à l'échelle européenne en complément des *pools* d'assurance nucléaire, c'est-à-dire en excédent de perte, augmenterait certainement la capacité d'indemnisation mais n'éliminerait pas les inefficacités des *pools*. Le potentiel d'amélioration de la couverture du risque nucléaire ne serait alors pas totalement exploité, à moins de réformer profondément les *pools*. Toutefois, pour les raisons invoquées plus haut, il est plus efficace que le risque soit partagé par les exploitants eux-mêmes que par les assureurs. Dès lors, le choix fait ici est radical : il consiste à supprimer les *pools* d'assurance nucléaire actuels pour les remplacer par un *risk-sharing* entre exploitants.

H2: Une RC illimitée et une capacité financière étendue à 10 milliards €

La règle de l'internalisation coasienne, définie dans l'introduction générale, exige que l'intégralité des coûts du risque nucléaire soit prise en charge par l'exploitant auteur du risque. La littérature en analyse économique du droit a étudié ce problème en détail. L'internalisation intégrale supposerait alors, en principe, une responsabilité illimitée de l'exploitant. Cependant, étant donné les caractéristiques particulières du risque nucléaire, il est clair que sans des arrangements institutionnels supplémentaires, l'internalisation n'est pas automatiquement garantie, ni avec une règle de responsabilité illimitée ni avec une clause d'indemnisation complète des victimes. En effet, même si les ressources des exploitants nucléaires sont

importantes (plus particulièrement les exploitants publics), la probabilité que le coût des dommages causés par un accident soit supérieur aux ressources disponibles est élevée. Ainsi, la règle de responsabilité illimitée nécessite d'être combinée avec un mécanisme de compensation qui peut garantir, au niveau européen, la disponibilité d'un montant d'indemnisation le plus élevé possible et au moins égal aux coûts moyens d'un accident nucléaire majeur. A l'image du principe ALARA (*"As Low As Reasonably Achievable"*), présenté dans le chapitre 2 et fondant la réglementation de sûreté, l'alternative à la couverture du risque nucléaire propose une capacité d'indemnisation "aussi élevée que raisonnablement possible". Le problème, déjà analysé, est que les coûts d'un accident majeur sont eux-mêmes difficilement mesurables. Ils font l'objet aujourd'hui de plusieurs évaluations qui les estiment entre 10 milliards € (pour le scénario le plus optimiste) et 100 milliards € (pour le scénario le plus pessimiste). Par conséquent, tout mécanisme d'indemnisation, aussi original soit-il, devra toujours être basé sur le calcul d'une limite, comprise dans cet intervalle. A cet égard, l'alternative proposée ici peut s'inspirer à nouveau du modèle américain qui offre aujourd'hui une capacité d'indemnisation de 10,76 milliards $US. De plus, ce chiffre correspond à la borne inférieure des estimations précitées. Pour faciliter les calculs pour la suite, l'hypothèse est alors posée qu'un montant de 10 milliards € devra être rendu disponible par les exploitants nucléaires européens dans leur *risk-sharing*. Il est possible que ce montant ne satisfasse pas les victimes en toute circonstance, mais, selon la littérature, elles le seraient en tout cas pour le scénario le plus optimiste. De plus, ce montant serait de toute façon substantiellement plus élevé que la couverture actuellement disponible sous le régime AEN/OCDE. Il le serait d'un facteur 26, par rapport à la capacité actuelle en France (381 millions €) et d'un facteur 7, par rapport à la capacité future instaurée par les Protocoles de 2004 (1,5 milliards €). De surcroît, cette capacité sera entièrement prise en charge et financée par les exploitants, sans aide étatique.

H3: Homogénéité des membres et différenciation du risque nucléaire

Cette hypothèse pose deux questions : celle des membres éligibles pour l'accord de *risk-sharing* et celle de la différenciation même du risque nucléaire.

En premier lieu, comment choisir les membres éligibles à l'accord ? Au sein d'un *risk-sharing*, les membres doivent avant tout former un groupe homogène. Par "homogénéité" (ce que Skogh (1999) appelle "*uniformity*"), il faut comprendre que les membres de l'accord

doivent présenter des caractéristiques communes quant à la nature du risque qu'ils génèrent et quant à leurs obligations juridiques et économiques. D'une part, cela signifie que les membres de l'accord doivent tous générer le risque nucléaire. L'accord n'inclut alors nécessairement que des pays nucléarisés. Sont d'emblée exclus les pays européens qui ne produisent pas d'électricité d'origine nucléaire. Ces pays ne peuvent ni faire partie de l'accord ni le financer puisqu'ils ne sont pas les auteurs du risque[229]. Au sein des pays nucléarisés, sont également écartés les exploitants de réacteurs non destinés directement à la production d'électricité (réacteurs expérimentaux, réacteurs de production de plutonium, etc.). D'autre part, les membres ne doivent pas être rattachés à des régimes juridiques de responsabilité et/ou des accords économiques européens (ou internationaux) différents, susceptibles de diverger entre eux. Cette homogénéité juridique et économique est fondamentale car elle permet d'éviter les incohérences possibles entre des régimes incompatibles ou contradictoires, auxquels les membres seraient individuellement liés. Ainsi, il est important que les membres du *risk-sharing* soient tous contraints par le même cadre économique et juridique pour être éligibles et ainsi assurer la pertinence de l'accord. L'homogénéité des membres est cruciale. Elle rend les membres (et le risque qu'ils génèrent) comparables entre eux, renforcent leur contrôle mutuel et de là, autorise une différenciation du risque.

En second lieu, comment différencier le risque nucléaire de manière efficace ? Les vertus de la différenciation du risque ont été analysées. Cette question soulève celle du ou des critères selon lesquels la différenciation doit être effectuée entre les membres de l'accord. Pour partager la couverture du risque, les membres doivent générer des risques comparables qui peuvent être identifiés et différenciés selon des critères communs. Cette hypothèse rejoint celle de l'homogénéité des membres. Bien qu'ils génèrent le même type de risque, le degré de risque produit par les membres peut différer de l'un à l'autre. Ce degré est influencé par deux facteurs, définis par Shavell (1980, 1987), et qui constituent les critères de différenciation retenus ici : le niveau de précaution et le niveau d'activité de chaque membre. Comme vu plus haut, le *risk-sharing* présente l'avantage qu'il requiert moins d'information sur le risque que l'assurance. Selon Skogh (1999), les membres d'un *risk-sharing* n'ont pas besoin de connaître la probabilité exacte de l'accident à laquelle ils sont soumis, mais seulement de savoir qu'ils génèrent des risques comparables. Les membres se mettent alors d'accord sur le fait que l'incertitude prévaut et, qu'à défaut d'en avoir la mesure précise, ils partagent la présomption

[229] Néanmoins ces pays subissent le risque. Ils seront donc indemnisés en cas de dommages transfrontaliers émanant d'un des membres de l'accord.

qu'ils génèrent tous la même probabilité de réalisation du risque. Comme le montrent Skogh et Wu (2005) : *"Risk-sharing is mutually beneficial also when the probability is unknown, unpredictable or genuinely uncertain, given that the risk is the same for (all). In fact, it is not necessary that the risk is the same for (all), it suffices that the parties accept a presumption of equality"*[230] (p.35). Cette spécificité est particulièrement intéressante pour les risques empreints d'incertitude comme le risque nucléaire. Selon Skogh et Wu (2005), cette présomption s'accompagne aussi nécessairement de l'hypothèse selon laquelle tous les membres ont la même aversion au risque. Chaque membre pense, en effet, faire face au même risque et ont alors le même désir de transférer le risque sur l'ensemble des membres. Cette présomption commune va permettre la sélection des membres. Comment, dans ces conditions, alors que la probabilité d'un accident reste incertaine, les membres peuvent-ils être sûrs que leur présomption est fondée ? S'ils ne peuvent pas véritablement comparer leurs probabilités respectives d'accident, comment apprécier leur risque relatif ? La présomption commune selon laquelle les probabilités d'accident sont les mêmes pour tous les exploitants est garantie grâce à deux facteurs : d'une part, l'appartenance à un régime commun de RCN *ex ante* et d'autre part, le respect du même niveau de sûreté *ex post*, imposé par les autorités nucléaires. Le premier facteur est déjà vérifié pour une grande partie des pays européens qui sont membres des Conventions AEN/OCDE. Quant au second facteur, il est conditionné par la réglementation de sûreté qui doit prendre en compte les risques spécifiques de chaque exploitant afin que les probabilités d'accident s'alignent les unes par rapport aux autres. En effet, pour que leur présomption commune soit fondée, les exploitants nucléaires ont besoin de savoir que chacun adopte un comportement de précaution maximal, étant donné ses risques spécifiques. Bien que tous génèrent le même type de risque (l'accident nucléaire), chacun présente des risques spécifiques qui peuvent influencer la réalisation de l'accident. Ces risques spécifiques sont de trois ordres : ils concernent les différences de taille des installations, les différences technologiques des réacteurs exploités et enfin, les risques liés à leur localisation géographique. Les différences en termes de taille se comprennent comme des différences de puissance entre les réacteurs nucléaires (entre 400MWe et 1500MWe pour les réacteurs actuels). En matière de sûreté, à condition qu'ils soient tous soumis aux mêmes normes, les réacteurs sont tout à fait comparables, quelque soit leur puissance. Les différences technologiques proviennent des spécificités de conception des réacteurs. On en distingue cinq

[230] "Le *risk-sharing* est mutuellement bénéfique aussi lorsque la probabilité est inconnu, imprévisible ou authentiquement incertaine, étant donné que le risque est le même pour (tous). En fait, il n'est pas nécessaire que le risque soit le même pour tous, il suffit que les parties accepte une présomption d'éagalité".

types en Europe : les Réacteurs à Eau Pressurisée (REP, les plus répandus), les Réacteurs à Eau lourde pressurisée (PHWR), les Réacteurs Refroidis au Gaz (GCR), les Réacteurs à Eau Bouillante (BWR) et les Réacteurs Graphite à Eau légère (LWGR)[231]. Les différences entre ces technologies proviennent essentiellement de la température et de la pression de l'eau en réacteur et de la manière dont la chaleur (nécessaire à la production d'électricité) est produite (refroidissement hydraulique, refroidissement au gaz, etc.). Contrairement aux différences de puissance, les différences technologiques présentent des risques spécifiques qui peuvent influencer la probabilité d'accident. Il en est de même pour la localisation géographique des installations. Par exemple, entre deux exploitants nucléaires gérant tout deux un seul réacteur, si l'un d'entre eux est exposé à des risques exogènes d'accident plus importants (du fait de sa localisation sur une faille sismique par exemple), il doit alors mettre en place des mesures de précaution adaptées à ces risques (comme la construction de parois anti-sismiques autour de son réacteur). En conséquence de ces différences, les comportements de précaution des exploitants participant à l'accord doivent être ajustés pour neutraliser les risques spécifiques de chacun. Cette neutralisation est précisément la mission de la réglementation nucléaire de sûreté, étudiée dans le chapitre 2. Elle pourra alors garantir le nivellement de la sûreté de leurs installations et l'efficacité de la différenciation du risque au sein du *risk-sharing*.

Le premier critère de différenciation du risque retenu ici concerne donc le niveau de précaution des membres. Il faut sélectionner uniquement les membres dont la sûreté nucléaire est régie par des règles communes qui puissent assurer l'alignement des probabilités d'accident. Au niveau international, la réglementation en vigueur a été mise en place par la Convention sur la Sûreté Nucléaire de l'AIEA en 1994 déjà mentionnée[232]. En ce qui concerne l'Europe, c'est la Convention sur la Sûreté Nucléaire de la Communauté Energétique Atomique Européenne (Euratom/EAEC), du 16 novembre 1999, qui impose les règles en la matière, directement inspirée de la Convention de l'AIEA. Par ailleurs, par une décision du 17 juillet 2007, l'UE s'est dotée d'un "groupe européen de haut niveau sur la sûreté nucléaire"[233]. Les membres de cette Convention européenne sont les pays nucléarisés membres de l'UE au

[231] Pour la répartition de ces différents réacteurs en Europe, voir Tableau 48 ci-après (deux pages plus loin).
[232] Cette convention a été analysée dans le chapitre 2. Elle est complétée par une Convention jointe dite Convention sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs signée à Vienne le 5 Septembre 1997.
[233] Le texte de cette décision est en ligne sur le site du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (au 01.01.07: http://aida.ineris.fr).

moment de sa dernière révision (en 2004)[234]. Dans le cadre de cette Convention, les pays signataires sont tous soumis au respect du même niveau de sûreté et doivent appliquer un certain nombre de règles spécifiques à la construction de leurs réacteurs, et à leur exploitation pour atteindre ce niveau. On peut donc dire que, du point de vue de notre premier critère de différenciation, le risque généré par ces pays est comparable. Ils sont donc éligibles pour le *risk-sharing* proposé. Pour résumer, les pays membres du *risk-sharing* européen doivent satisfaire aux conditions suivantes :

C1 : être un pays nucléarisé

C2 : être membre de l'Union Européenne

C3 : être parties aux Conventions de RCN

C4 : avoir ratifié la Convention sur la sûreté nucléaire d'Euratom de 1999

Quels pays sont donc éligibles ? Depuis le 1er janvier 2007 l'UE compte vingt-sept membres. Parmi eux, quinze sont nucléarisés. Il s'agit de l'Allemagne, la Belgique, la Bulgarie, l'Espagne, la Finlande, la France, la Hongrie, la Lituanie, les Pays-Bas, la République Tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Slovaquie, la Slovénie et la Suède. Les autres membres de l'UE (le Danemark, l'Estonie, La Lettonie, l'Autriche, le Portugal, la Grèce, Chypre, l'Italie, l'Irlande, la Pologne, le Luxembourg et Malte) n'ont jamais produit d'énergie nucléaire ou ont fermé leurs installations. Au centre géographique de ces pays, se trouvent la Suisse, la Norvège et six pays d'Europe centrale. Ils ne peuvent toutefois être inclus dans le *risk-sharing* : la Suisse exploite actuellement cinq réacteurs nucléaires mais n'a ratifié aucune des Conventions AEN/OCDE et n'est pas membre de l'UE et la Norvège, la Bosnie, la Serbie, le Monténégro, l'Albanie, la Macédoine et la Croatie ne sont ni membres de l'UE, ni nucléarisés.

Parmi les quinze candidats potentiels, neuf sont parties aux Conventions de Paris et de Bruxelles et six sont membres de la Convention de Vienne[235]. Peut-on réunir dans le *risk-sharing* des pays membres de Conventions de RCN différentes ? Le chapitre 1 a montré que ces trois Conventions ont été rédigées sous l'égide de l'AEN et de l'OCDE pour les deux premières et de l'AIEA pour la troisième. Il a également montré que la Convention de Vienne

[234] Article 1 de la Décision de la Commission Européenne 1999/819/Euratom modifiée le 29 avril 2004 (Journal officiel n° L 172 du 06/05/2004 p. 0007 - 0008). Le texte de cette décision est en ligne sur le site de l'Union Européenne (au 01.01.07 : http://europa.eu).

[235] Concernant les Conventions de Paris et de Bruxelles, ces pays sont l'Allemagne, la Belgique, l'Espagne, la Finlande, la France, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Slovénie et la Suède. Voir chapitre 1, Tableau 1, p.59 Concernant la Convention de Vienne, ces pays sont la Bulgarie, la Roumanie, la Lituanie, la République Tchèque, la Slovaquie et la Hongrie. Voir Annexe 3.

reprend les mêmes principes fondamentaux de RC et les mêmes dispositions générales que les Conventions de Paris et de Bruxelles pour les étendre à des pays économiquement (et/ou politiquement) éloignés de l'Europe occidentale (Annexe 3). Ces trois Conventions sont donc très proches dans leur contenu. De plus, elles sont, depuis 1988, liées par un protocole joint (ratifié par ailleurs par les six membres de la Convention de Vienne ici éligibles) ayant pour but de les harmoniser et ont toutes trois fait l'objet de révisions récentes dans le même sens (relèvement des plafonds de responsabilité des exploitants et hausse des montants disponibles d'indemnisation) respectivement en 2004 et 1997. Ces dispositions juridiques ont permis de coordonner les Conventions et ainsi d'écarter les incohérences entre elles. On peut donc considérer que le régime de RCN des quinze candidats à l'accord est homogène. Quant à Euratom et la Convention sur la sûreté nucléaire européenne, elles n'incluent pas (encore) les derniers entrants dans l'UE : la Bulgarie et la Roumanie. Avec leur adhésion, on peut s'attendre à ce que cette convention soit à nouveau révisée pour soumettre les réacteurs de ces deux pays au même niveau de sûreté que leurs voisins. Dans cette perspective, ces pays ont par ailleurs déjà commencé à élever leur niveau de sûreté : la Bulgarie en acceptant de fermer définitivement les réacteurs 1 et 4 de la centrale de Kozloduy le 31 décembre 2006[236] ; la Roumanie en s'engageant à poursuivre l'élaboration de son cadre réglementaire pour la sûreté nucléaire et de programmes nationaux concernant la gestion sûre du combustible usé et des déchets radioactifs et à renforcer les capacités de ses autorités réglementaires. En attendant, les réacteurs nucléaires bulgares et roumains ne sont pas, pour l'heure, soumis au même niveau de sûreté de sûreté que ceux des autres membres nucléarisés de l'UE. Pour éviter tout biais dans la différenciation du risque, ces pays sont donc exclus du *risk-sharing*. Au final, les treize pays suivants sont retenus.

[236] Ces fermetures ramènent le nombre de réacteurs bulgares en fonctionnement à deux auxquels il faut ajouter deux autres REP actuellement en construction.

Pays membres	Nombre de réacteurs	Types de réacteur
Allemagne	17	11 REP/6 BWR
Belgique	7	REP
Espagne	8	6 REP /2 BWR
Finlande	4	2 REP/2 BWR
France	58	REP
Hongrie	4	REP
Lituanie	1	LWGR
Pays-Bas	1	REP
République Tchèque	6	REP
Royaume-Uni[237]	19	18 GCR/1 REP
Slovaquie	5	REP
Slovénie	1	REP
Suède	10	3 REP/7 BWR
Total	*141*	*105 REP/18 GCR/17 BWR/1 LWGR*

*Source : PRIS (*Power Reactor Information System*), AIEA

Tableau 48. Membres du *risk-sharing* nucléaire européen

Le second critère de différenciation du risque est le niveau d'activité des membres. Ce critère fait dépendre le risque généré par les exploitants à leur niveau d'activité. Il est pertinent car, comme nous l'avons déjà mentionné, bien qu'ils utilisent tous la même source d'électricité, les exploitants ne contribuent pas au risque de manière égale. Le niveau d'activité se mesure à partir du nombre de réacteurs exploités. Or, comme le montre le Tableau 48, tous les exploitants ne gèrent pas le même nombre de réacteurs. Ainsi, même si la réglementation de sûreté permet de niveler leur probabilité d'accident, cette probabilité augmente avec le nombre de réacteurs exploités. Dans l'industrie nucléaire, il est clairement établi que ce nombre influence positivement le degré de risque. La preuve en est que les probabilités d'accident sont toujours exprimées "par réacteur", dans les EPS (et non pas par kWh produit par exemple). Par conséquent, il est crucial de faire dépendre les contributions de chaque membre du *risk-sharing* à son niveau d'activité pour bien différencier le risque. Au sine du *risk-sharing*, chaque membre participe donc au financement du *risk-sharing* à proportion de sa contribution individuelle au risque. Cette contribution est calculée (plus loin) en fonction du nombre de réacteurs exploités et définie à partir de quotes-parts attribuées à chacun. Notons que cette proportionnalité est aussi inscrite, dans une certaine mesure, dans le mode de financement de la troisième tranche de risque des Conventions AEN/OCDE et également dans

[237] Au 1er janvier 2007, l'Angleterre a définitivement fermé deux réacteurs à Dungeness et deux autres à Sizewell.

la Convention CRC mentionnée dans le chapitre 1[238]. Il est toutefois regrettable que cette différenciation ne concerne pas la prise en charge du risque par les exploitants. La correspondance entre la cotisation financière et la contribution au risque a deux effets bénéfiques. D'une part, elle incite les exploitants générant le plus haut degré de risque à adopter un comportement préventif afin de faire pression à la baisse sur leur propre cotisation. D'autre part, elle rend la distribution du risque équitable[239].

H4 : Ajustement intertemporel des contributions

Outre leur différenciation, il est indispensable que les contributions soient ajustées au cours du temps. En effet, si l'hypothèse de départ pour la conclusion de l'accord de partage de risque implique que tous les membres aient la même information sur le risque (ce qui justifie leur présomption qu'ils génèrent tous le même risque), cette information est susceptible d'évoluer dans le temps. Avec les avancées scientifiques et technologiques, il est possible qu'un des membres accède, à un moment donné, à une information privée sur le risque concernant, par exemple, la manière de le réduire davantage (par exemple à la suite d'une amélioration technologique). Skogh (1999) montre que, dans ce cas, l'information doit être partagée avec les autres membres, devenant ainsi un bien public. Comment inciter les membres du *risk-sharing* à divulguer leur information privée alors qu'ils sont, en matière de production, des entreprises concurrentes ? D'une part, les membres du *risk-sharing* sont spontanément incités à partager l'information car, accessible à tous, elle est un moyen de maintenir une différenciation du risque équitable entre eux et de diminuer l'aléa moral et la sélection adverse en renforçant leur contrôle mutuel. En particulier, lorsqu'elle concerne la possibilité de réduire le risque d'accident, la diffusion de l'information permet de diminuer le risque global de tous les membres et protègent ainsi individuellement leurs contributions financières. Si un membre de divulgue pas son information privée sur la possibilité de réduire le risque, le risque des autres participants reste plus élevé et il risque de devoir payer pour les réparations des accidents causés par les autres. Ainsi, s'il veut protéger sa contribution, il a intérêt à partager son information. Cette diffusion permet également d'établir une relation de

[238] Pour rappel : dans la troisième tranche de risque mise en place par la Convention de Bruxelles et financée conjointement par les Etats parties aux Conventions AEN/OCDE, la contribution individuelle de chaque Etat est fixée selon les proportions suivantes : 35% selon leur PIB et 65% selon leur capacité nucléaire installée (article 12 de la Convention de Bruxelles révisée). Quant à la Convention CRC (non encore entrée en vigueur), les contributions des Etats sont établies selon un barème imposé par les Nations Unies, sur la base de leur capacité nucléaire installée et d'un taux proportionnel exprimé en unités de MW thermique.

[239] L'assurance a également pour tradition de différencier le risque au travers de primes différenciées. Néanmoins, il a été montré qu'en vertu des Conventions internationales de RCN, les exploitants sont tous soumis au même plafond de couverture sans différenciation de risque.

confiance entre les membres, élément indispensable à l'efficacité et la crédibilité de long terme d'un *risk-sharing*. D'autre part, si les incitations spontanées sont insuffisantes, l'accord peut aussi contraindre les membres à partager leur information privée, en les soumettant à certaines clauses exigeantes concernant l'obligation de diffuser l'information (*disclosure of information*) (Skogh, 1999). Pour faire respecter ce type de clause et en renforcer les effets positifs, la mise en place d'un mécanisme d'ajustement annuel des contributions individuelles est souhaitable. Un tel mécanisme consiste à pénaliser les membres qui n'appliquent pas la règle, par exemple par le biais de retenues financières sur leurs contributions à venir. Ces pénalités peuvent aussi être engagées contre un membre, en accord avec les Autorités nucléaires de Sûreté, si celui-ci ne respecte pas le niveau de sûreté imposé à tous. Les assureurs utilisent aussi ce type de sanctions pour réduire l'aléa moral et la sélection adverse. Enfin, les contributions doivent aussi évoluer dans le temps en fonction de la variation du niveau d'activité des exploitants.

Qu'en est-il, dès lors, du financement précis de ces contributions?

3.2. Les contributions des exploitants au risk-sharing *: quel financement ?*

Les modalités de financement du *risk-sharing* détermineront en grande partie son efficacité. L'objectif est de minimiser le rôle de l'Etat dans le financement et donc de maximiser le transfert des fonds publics vers les fonds privés. Cet objectif est fondamental pour garantir l'internalisation des coûts du risque par les exploitants nucléaires en leur faisant supporter au maximum les coûts de couverture du risque. Dans la mesure du possible, l'intervention de l'Etat est exclue du *risk-sharing*. En définir les modalités de financement revient à déterminer en premier lieu, le statut des contributions de chaque membre et en second lieu, leur montant et leur coût.

Le statut des contributions fixe la manière dont chaque membre doit les constituer ainsi que les garanties qu'il doit fournir s'il en a l'obligation. Le statut détermine donc les modalités comptables des contributions et par là, leur coût pour l'exploitant. De manière évidente, ce statut conditionnera aussi les incitations fournies par le *risk-sharing* à ses membres et de là, son efficacité. Trois types de contributions sont distingués : les contributions versées *ex ante* (3.2.1), les contributions réservées (3.2.2.) et les contributions

rétrospectives (3.2.3). De là, le montant et le coût des contributions pour chaque exploitant seront calculés selon ces trois statuts (3.2.4).

3.2.1. Les contributions versées *ex ante*

Ces contributions, notées Cp_i, sont payées par chaque membre *i* de l'accord au début de chaque année. Ces contributions ont le même statut pour tous les membres mais leur montant diffère pour chacun d'eux, en fonction de leur nombre respectif de réacteurs exploités. Elles sont toutes versées sur un compte indépendant, ouvert au nom du *risk-sharing* et géré par l'institution en charge. Ce compte prend la forme d'un fond qui fonctionne alors comme une mutuelle. Les versements effectués par les propriétaires des pétroliers dans les clubs P&I précédemment cités sont un exemple de ce type de contributions. Elles présentent l'avantage de constituer un fond financier immédiatement disponible en cas d'accident. A cet égard, elles peuvent donc pallier les déficits de confiance qu'il peut exister entre les membres de l'accord (Skogh, 2007). Si un accident a lieu sur le territoire sur lequel un des membres exerce, la réparation des dommages et l'indemnisation des victimes sont financées avec les montants versés dans le fond par tous les exploitants, indépendamment de leur implication respective dans l'accident. En fin d'année, les bénéfices et les pertes sont répartis solidairement parmi les membres. Bien que tous les membres de l'accord financent les dommages causés par un accident, ceux dont la RC a été engagée lors de l'exercice au cours d'un accident peuvent se voir attribuer des pénalités sur leur contribution à venir. En revanche, si aucun accident ne s'est produit pendant l'exercice, les contributions peuvent être récupérées par les membres, par exemple en cas de cessation de leur activité, ou reversées dans le fond au titre de nouvelles contributions au début de l'année suivante, à condition bien sûr que ces contributions n'aient pas été réajustées entre temps, comme le prévoit l'hypothèse H4 énoncée plus haut. Ainsi, si ni leur comportement ni leur niveau d'activité n'a changé entre deux exercices, et qu'aucun accident n'est survenu, leurs contributions peuvent être réutilisées l'année suivante. C'est un des avantages majeurs du *risk-sharing* par rapport à l'assurance. L'autre avantage du modèle est qu'il permet une répartition du risque étant donné que l'exploitant membre ne doit évidemment pas contribuer à hauteur de 10 milliards € mais seulement d'une proportion inférieure (et relativement petite) de cette somme, basée sur sa contribution au risque (mesuré par son niveau de précaution et d'activité).

Le problème qui peut surgir néanmoins est celui de la solvabilité des membres. En effet, le versement des contributions *ex ante* peut s'avérer très lourd, notamment pour les petits exploitants qui ont peu de trésorerie. Le fait que les contributions puissent être réutilisées sur plusieurs exercices les soulage car ils ne sont pas obligés de les verser chaque année. Dès lors, le problème se pose essentiellement pour le tout premier versement, au moment de la création du fond[240]. Toutefois, comme ces contributions doivent être constituées en début d'année, si un membre se trouve être insolvable, les autres membres du *risk-sharing* peuvent alors décider de l'exclure de l'accord. Grâce à ce statut particulier des contributions, l'insolvabilité d'un membre peut être décelée au début d'un exercice et donc avant la survenance d'un accident. L'exclusion dès le départ du membre insolvable peut ainsi éviter aux autres de devoir payer pour les dommages causés par celui-ci alors qu'il n'a pas participé lui-même au financement. De plus, étant donné que les contributions sont proportionnelles au risque et au niveau d'activité, celles des petits exploitants sont moindres par rapport aux contributions des exploitants de taille plus grande. On peut donc supposer qu'ils seraient en mesure de les payer.

La principale caractéristique de ces contributions versées *ex ante* est qu'elles sont payées d'avance par les exploitants. De ce fait, leur inconvénient est qu'elles sont par là même immobilisées sur toute la durée d'activité des exploitants membres, si aucun accident ne survient. Ainsi, bien qu'elles soient récupérables, elles impliquent un coût pour eux. Ce coût, noté Z_{Cp_i} , provient d'une part, de la perte de valeur de la contribution dans le temps, si aucun accident n'a lieu sur la période et d'autre part, de la perte espérée de cette contribution, en cas de réalisation du risque. Ce second élément se calcule à partir de l'espérance mathématique des pertes et doit être actualisée sur la période. L'hypothèse implicite émise ici (utilisée aussi dans le chapitre 3) est alors la suivante : un seul accident ne peut survenir sur la période et si un accident survient, toute la contribution sera utilisée pour réparer les dommages et indemniser les victimes. Le coût total individuel des contributions versées *ex ante* sur la période est donc égal à :

$$Z_{Cp_i} = \left[\boldsymbol{Cp_i} - \frac{\boldsymbol{Cp_i}.(1-\boldsymbol{p}.\boldsymbol{n_i})}{(1+\boldsymbol{a})^{40}} \right] + \left[\sum_{t=1}^{t=40} \frac{\boldsymbol{Cp_i}.\boldsymbol{p}.\boldsymbol{n_i}}{(1+\boldsymbol{a})^{t}} \right] \qquad (30)$$

[240] Il se pose aussi bien sûr, en cas de survenance d'un accident majeur, pour lequel la totalité des contributions versées doit être mobilisée pour réparer les dommages. Les contributions à venir seraient donc élevées pour refinancer le fond et rétablir sa capacité de départ.

p étant la probabilité d'accident, t = 40 la durée de vie moyenne d'un réacteur nucléaire (définie comme la période de référence), n_i le nombre de réacteurs exploités par l'exploitant i considéré et a le taux d'actualisation sur la période. Le taux d'actualisation net utilisé ici est le même taux que celui utilisé dans le chapitre 3 (qu'EDF utilise lui-même), soit a = 3% = 0,03. Concernant p, nous reprenons la valeur estimée par les EPS (aussi utilisée dans le chapitre 3, p.209), soit $p.n_i = (10^{-5}.0{,}81 + 10^{-5}.0{,}19).n_i = 10^{-5}.n_i$ par réacteur par an (IRSN/EDF, 1990 ; NEA/OECD, 1994 ; Schieber et Schneider, 2002).

3.2.2. Les contributions réservées *ex ante*

Ces contributions, notées Cv_i, ont le même statut que les réserves actuellement constituées par EDF pour la couverture d'une part de sa RC. Le chapitre 3 a montré que ces réserves ont le statut de "réserves de propre assureur" et sont enregistrées dans le passif du bilan comptable de l'exploitant en tant que part de ses capitaux propres. Dans le cadre d'un *risk-sharing*, les contributions réservées ne sont donc pas versées dans un fond, contrairement aux contributions versées, mais sont constituées directement dans les comptes de chaque industriel. Ces réserves sont soumises aux normes internationales de comptabilité (les IFRS précédemment citées) et ont pour unique usage la couverture contre un risque spécifique. Dans ce cas, les réserves de propre assureur sont immobilisées dans les comptes des membres de l'accord de partage de risque jusqu'à ce qu'un accident survienne. Elles sont donc bloquées à cet effet et aucune autre utilisation ne peut en être faite que la mobilisation au titre de la réparation des dommages.

L'efficacité du *risk-sharing* peut ici aussi se heurter à un problème de solvabilité. A la différence des contributions versées *ex ante*, le problème de solvabilité des membres peut se manifester ici non seulement au début, mais aussi tout au long, d'un exercice. Au début d'un exercice, si un des membres ne peut pas constituer suffisamment de réserves, le risque d'insolvabilité peut être évacué en excluant d'emblée ce membre, comme mentionné précédemment. En revanche, même lorsque les réserves initiales sont suffisantes, le risque de solvabilité peut persister sur la période. En effet, les contributions étant conservées dans les comptes des exploitants et non pas versées dans un fond, il est crucial que les membres de l'accord ait la garantie que les réserves de propre assureur de chacun ne soient jamais utilisées dans un autre but que pour couvrir les dommages d'un accident. Le contrôle de la constitution et de l'immobilisation de ces réserves est donc fondamental pour éviter que les exploitants

soient tentés de les utiliser pour d'autres fins. De la même manière, il faut que tous soient assurés que les réserves ne soient pas saisies en cas de faillite d'un des membres. Ce contrôle peut être effectué par les membres eux-mêmes ou par un régulateur extérieur. La seconde option rendrait le contrôle sans doute plus impartial. Cependant, le contrôle des réserves peut s'accompagner de coûts administratifs importants pour le régulateur.

Comme les contributions versées *ex ante*, ces contributions sont récupérables et réutilisables d'une année sur l'autre au titre de la couverture du risque. Elles sont donc très proches dans leur statut. Elles présentent néanmoins deux différences majeures. La première vient de la manière dont elles sont constituées. Les contributions réservées *ex ante* ont l'avantage de ne pas faire l'objet d'un transfert financier dans un fond et n'exige donc pas un effort de coordination et de collecte de la part des membres du *risk-sharing* et de l'institution qui le gère. Il s'agit simplement d'un jeu d'écritures comptables qui simplifie grandement la constitution des contributions de chacun. La seconde différence vient de leur coût respectif. Le chapitre 3 a montré que le coût de ce type de réserves est composé de deux éléments : d'une part, une perte de valeur des réserves dans le temps (si aucun accident n'a lieu sur la période), calculée comme un coût d'immobilisation avec le taux de rentabilité des capitaux propres issu de la méthode du MEDAF[241] et d'autre part, la perte espérée de ces réserves en cas d'accident nucléaire. Cette seconde composante du coût est commune aux deux types de contributions. Ainsi, en tant qu'élément des capitaux propres de l'exploitant, les réserves présentent le désavantage d'être soumises à une exigence de rentabilité de la part des actionnaires de l'entreprise exploitante. Reprenant la formule de l'équation (26) du chapitre 3 (p.228), le coût total individuel des contributions réservées *ex ante*, noté Z_{Cv_i} sur la période est donc égal à :

$$Z_{Cv_i} = \left[\boldsymbol{Cv_i} - \frac{\boldsymbol{Cv_i}.(1-\boldsymbol{p}.\boldsymbol{n_i})}{(1+\boldsymbol{k_{cp}})^{40}} \right] + \left[\sum_{t=1}^{t=40} \frac{\boldsymbol{Cv_i}.\boldsymbol{p}.\boldsymbol{n_i}}{(1+\boldsymbol{k_{cp}})^{t}} \right] \qquad (31)$$

avec k_{cp} le taux de rentabilité exigé sur les capitaux propres (et donc sur les réserves), calculé par la méthode du MEDAF. Pour les raisons invoquées dans le chapitre 3, le taux k_{cp} est considéré à la fois comme le taux d'immobilisation et donc aussi comme taux d'actualisation. Pour les calculs, nous reprendrons les résultats du chapitre 3, soient k_{cp} = 8,6% (évaluation basse) et k_{cp} = 13% (évaluation haute)[242]. L'hypothèse est émise ici que k_{cp} (et donc les

[241] Voir chapitre 3, p.229.
[242] Voir chapitre 3, p.229.

composantes pour le calculer : le taux de l'argent sans risque, le taux de rentabilité du marché et le coefficient "bêta" financier de sensibilité des capitaux propres) de tous les exploitants membres sont égaux. Etant donné qu'ici, $k_{cp} > a$ (a = 0,03), les contributions réservées seront toujours plus coûteuses que les contributions versées *ex ante*.

3.2.3. Les contributions rétrospectives

Ces contributions, notées Cr_i, sont très particulières. A l'instar des primes rétrospectives prises en charge par les exploitants américains, décrites plus haut, ces contributions ne sont ni versées ni réservées *ex ante* mais seulement mobilisables *ex post*. Cela signifie que les exploitants nucléaires sont simplement tenus de fournir une promesse de paiement soutenue par une garantie financière. Cette garantie financière est proposée par l'exploitant puis approuvée et certifiée chaque année par l'Autorité Nucléaire concernée ou l'Etat. Ces contributions sont originales car elles ne font l'objet d'aucun mouvement financier, ni d'aucun jeu d'écriture comptable, *ex ante*. Si aucun accident nucléaire ne survient au cours d'une année, les garanties sur lesquelles sont gagées les contributions rétrospectives peuvent être à nouveau proposées à l'Autorité Nucléaire (ou l'Etat), si ces garanties sont encore valables bien sûr. Dans un tel système, les pertes ne sont donc réparties qu'*ex post*, en cas d'accident nucléaire. En effet, dans ce cas, l'Autorité Nucléaire (ou l'Etat) somme les exploitants du *risk-sharing* de payer conjointement les réparations en s'appuyant sur les garanties fournies par eux antérieurement.

La question majeure posée par ce type de contribution est celle de leur coût. En effet, puisqu'elles ne font l'objet d'aucun versement ni dépôt financier *ex ante*, quel est alors leur coût pour l'exploitant ? Etant donné qu'il n'a à payer sa contribution rétrospective qu'*ex post*, cela signifie-t-il pour autant qu'il ne subit aucun coût du fait de cette contribution ? La réponse est non. En effet, même si la prime n'est pas payée *ex ante*, l'exploitant doit quand même prendre en compte deux éléments. Premièrement, il doit prendre en considération le fait qu'à tout moment, un accident nucléaire peut survenir, et donc que sa prime peut lui être réclamée. Il doit donc prévoir la possibilité de devoir verser sa prime rétrospective pour réparer les dommages. Cette possibilité implique un coût : celui de la perte espérée de ladite contribution. Ce coût est aussi commun aux deux premiers statuts de contributions. Deuxièmement, les contributions rétrospectives sont aussi coûteuses parce qu'elles sont soutenues par des garanties fournies par les exploitants. Une garantie se définit comme un avoir qu'un débiteur

(l'exploitant) engage en faveur d'un créancier (l'Etat) afin de réduire autant que possible la perte financière que celui-ci encourrait si le premier s'avérait incapable d'honorer intégralement ses obligations financières à son égard. La littérature financière enseigne que, traditionnellement, les garanties portent soit sur les perspectives futures de l'entreprise redevable, donc sur sa solidité financière, soit sur un bien ou une opération précise (Vernimmen, 2005). Selon leur forme, elles sont plus ou moins coûteuses. Concernant précisément le modèle américain, la NRC impose aux exploitants de fournir une garantie de paiement pour leurs primes rétrospectives parmi les six options suivantes[243] :

(1) le cautionnement (*surety bond*) : il s'agit d'un contrat par lequel une société de caution s'engage à l'égard d'un créancier (l'Etat) à payer la dette d'un débiteur (l'exploitant). La garantie doit être alors obligatoirement délivrée par une société de caution agréée, mutuelle par exemple, une compagnie d'assurance, un organisme de garantie collective ou encore une banque ou un établissement financier. Les banques et établissements financiers perçoivent systématiquement une commission, en fonction du montant de leur garantie et des risques encourus[244].

(2) la lettre de crédit (*letter of credit*) : appelé aussi "crédit documentaire". Il s'agit de l'engagement d'une banque (celle de l'exploitant) à une autre banque (le Trésor), de payer en une ou plusieurs fois et sous certaines conditions, une certaine somme d'argent à une personne dénommée ou à son ordre (l'Etat), d'un montant déterminé dont elle garantit le paiement. Pour ce service, la banque émettrice et la banque notificatrice font payer au mandant (l'exploitant) plusieurs commissions (commissions d'ouverture, d'utilisation, de risque et d'échéance pour la première et commissions de notification, de confirmation, de levée des documents et de paiement pour la seconde). En général, tous frais confondus des deux banques, le coût d'une lettre de crédit se situe entre 1% et 3% du montant total du crédit. Ce type de garantie est surtout utilisé dans le cadre de contrats commerciaux entre exportateurs et importateurs.

(3) le crédit *revolving* : appelé aussi crédit "permanent" ou crédit "renouvelable". C'est une forme de crédit consistant pour une banque à mettre à disposition d'un emprunteur (l'exploitant) une somme d'argent sur un compte particulier, de façon permanente et avec laquelle il peut financer les achats de son choix (et donc payer ses primes rétrospectives). Ce type de crédit est surtout utilisé comme dans le financement du besoin en fonds de roulement, comme le crédit à la consommation et prend la forme d'une réserve d'argent disponible à court

[243] Ces options sont inscrites dans le §140.21 ("*Licensee guarantees of payment of deferred premiums*") de la réglementation de la NRC (GAO, 2004).
[244] En France, les règles générales du cautionnement procèdent des articles 2288 à 2320 du Code Civil.

terme et renouvelable chaque année. Le coût de ce crédit dépend du taux d'intérêt (fixe ou variable) pratiqué par la banque dispensaire du crédit.

(4) le dépôt obligatoire en titres d'Etat (*escrow deposits in Government securities)*: il s'agit de la constitution par une entreprise (l'exploitant) d'une certaine somme d'argent, égale à une partie du montant garanti (la prime rétrospective), sous forme d'obligations d'Etat. Le financement particulier de ce dépôt par des obligations d'Etat en garantit la solvabilité en minimisant les risques. Le coût subi par l'exploitant pour cette forme de garantie correspond au montant du dépôt obligatoire.

(5) la certification annuelle des résultats financiers de l'exploitant (*annual certified financial statement*) : cette certification par l'Etat montre soit qu'un flux financier soit une réserve de trésorerie (ou une combinaison des deux) peut être généré et serait disponible pour le paiement de la prime rétrospective sous 3 mois après la soumission des résultats. Cette garantie n'implique aucun coût pour l'exploitant.

(6) toute autre type de garantie approuvée par l'Etat (et la NRC)

A la fin des années 1990, tous les exploitants nucléaires américains utilisaient la certification de leurs résultats financiers (cinquième option) comme garantie. Depuis, à l'initiative d'Entergy Corp. (un des exploitants nucléaires américains), la NRC accepte, au titre de la sixième option, le *payment bond* comme garantie des primes rétrospectives. Il s'agit d'un accord contractuel passé entre les exploitants nucléaires et ANI qui oblige ces derniers à payer les primes rétrospectives si elles leur sont demandées. Au début de chaque année, les exploitants qui ont choisi cette option signe un *bond* et en font certifier une copie par la NRC (GAO, 2004). Si un accident survient, ANI exigera alors de ces exploitants le paiement de leurs primes rétrospectives[245]. Dans le cas où les exploitants ne pourraient pas payer leurs primes et en vertu du contrat qui les lie, ANI avanceraient à leur place les fonds dans un maximum de trois fois ou de 30 millions $US par an et tacherait de récupérer cette avance plus tard auprès des exploitants insolvables. En dehors du temps passé à conclure l'accord contractuel, ce type de *payment bond* n'est pas coûteux pour l'exploitant. Il sert simplement de preuve pour la couverture de la seconde tranche de risque mise en place par le *Price-Anderson Act*. Aujourd'hui, quinze exploitants nucléaires ont recours à la certification de leurs résultats

[245] Rappelons, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 2, que c'est ANI qui est charge de collecter les primes rétrospectives pour les verser ensuite à la NRC qui pré-finance les dommages. De plus, pour les exploitants dont la société est à responsabilité limitée (*limited liability company*), ANI exige une lettre de garantie de la part de la maison mère ou des autres compagnies affiliées. Cette lettre atteste que la maison mère ou les autres compagnies affiliées sont responsables du paiement de la prime rétrospective de l'exploitant à responsabilité limitée si celui-ci ne peut honorer son obligation.

financiers comme garantie pour leurs primes rétrospectives et les autres utilisent les *payment bonds*. Ces deux types de garanties spécifiques n'impliquent donc aucun coût direct pour les exploitants américains.

En résumé, de manière générale, les contributions rétrospectives au *risk-sharing* impliquent deux types de coûts : la perte espérée de la contribution en cas d'accident et le coût de la garantie, noté *G*, qui varie selon l'option choisi. Le coût total individuel des contributions rétrospectives, noté Z_{Cr_i} sur la période est donc égal à :

$$Z_{Cr_i} = \left[\left(\sum_{t=1}^{t=40} \frac{\boldsymbol{Cr_i . p . n_i}}{(1+\boldsymbol{a})^t} \right) + \boldsymbol{G} \right] \qquad (32)$$

p, n_i et *a* ayant été définis précédemment.

Une question majeure demeure néanmoins : celle de la répercussion actuelle du coût de ces contributions rétrospectives dans le coût du kWh nucléaire américain. Bien que *G* = 0 pour les exploitants nucléaires américains, cette répercussion doit, de fait, avoir lieu, au moins pour le premier terme de l'équation (32). Si cela n'était pas le cas, le danger existerait que le risque soit simplement transféré sur les futurs consommateurs d'énergie qui auraient à payer un prix plus élevé. Dans cette hypothèse, cela serait inefficace et il y aurait une redistribution des coûts sur les générations futures. Quant à l'insolvabilité des exploitants, il existe pour les contributions rétrospectives, comme pour les contributions réservées *ex ante*, toujours un risque, au début et au long de l'exercice, que les exploitants ne puissent pas payer leurs contributions. Un contrôle strict des garanties fournies *ex ante* et de leur validité au cours du temps est donc nécessaire. De la même manière, le contrat de *payment bond* conclu entre ANI et les exploitants nucléaires américains qui ont choisi cette option peut aussi être une solution pour pallier l'insolvabilité de ces derniers. De plus, pour le cas où il y aurait effectivement une insolvabilité de l'un des membres, la capcité totale d'indemnisation pourrait être maintenue à son niveau (10 milliards € ici et 10,76 milliards $ aux Etats-Unis) à condition que la contribution individuelle des autres exploitants augmente. Cela est sans doute, sinon suffisant, efficace pour inciter la collectivité d'exploitants à contrôler mutuellement le respect du niveau de sûreté et la solvabilité de chacun. Ce modèle fonctionne bien aux Etats-Unis où le contrôle mutuel est apparemment possible. Cependant, il est clair qu'une condition importante pour la faisabilité de ce mécanisme consiste en ce que ce contrôle joint soit possible.

Enfin, quelque soit le statut des contributions et malgré les problèmes de solvabilité qui peuvent apparaître dans le *risk-sharing*, ils seront sans doute minimisés du simple fait que la couverture du risque est collective et donc distribuée sur plusieurs membres.

3.2.4. Les contributions de chaque exploitant : proportionnalité au risque et coût

Dans les treize pays retenus pour le *risk-sharing* nucléaire européen, il y a vingt-huit exploitants de production. Dès lors, quels sont les montants et les coûts des contributions de chacun d'eux au regard des trois statuts étudiés ? Notons que, quelque soit le statut des contributions, leur montant est toujours identique pour un même exploitant. Le statut des contributions n'influence pas leur montant mais seulement leurs modalités de constitution et leur coût. Le montant des contributions est influencé seulement par le niveau d'activité des membres, mesuré par le nombre de réacteurs exploités. On aura donc toujours, pour un même exploitant $i, Cp_i = Cv_i = Cr_i$. Seuls les coûts Z_{Cp_i}, Z_{Cv_i} et Z_{Cr_i} varient selon le statut. De plus, la somme des contributions individuelles est toujours égale à 10 milliards €, soit $\sum Cp_i = \sum Cv_i = \sum Cr_i$ = 10 milliards €. S'appuyant sur les équations (30) à (32), le Tableau 49 ci-après présente les contributions respectives des exploitants participant à l'accord ainsi que leur coût annuel. Le coût annuel des contributions est calculé à partir du coût total donné par les équations (30), (31) et (32) divisé par 40 (la période de référence).

Evidemment, plus le nombre de membres est important, plus la capacité totale du *risk-sharing* est susceptible d'augmenter. De plus, à capacité égale, la hausse du nombre d'exploitants participant réduit la contribution individuelle de chacun.

Pays Membres	Exploitants nucléaires (Nombre de réacteurs)	Quote-part	Montant des Contributions individuelles $c_{p_i} = c_{v_i} = c_{r_i}$ (millions €)	Coûts individuels des contributions (Z_{Cm}) ($m=p, v, r$) (millions € par an)			
				Z_{Cp_i}	Z_{Cv_i}		Z_{Cr_i}
					k=8,6%	*k=13%*	
Allemagne	RWE (2)	1,4%	141,8	2,5	3,4	3,5	0,0016+*G*/40
	EON (5)	3,5%	354,6	6,2	8,5	8,8	0,01+*G*/40
	KKW B (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	KKW L (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	KKW *G* (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	KKW *G*r (2)	1,4%	141,8	2,5	3,4	3,5	0,0016+*G*/40
	KKW K. (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	EnBW (4)	2,8%	283,7	4,9	6,8	7	0,006+*G*/40
Belgique	Electrabel NP (7)	5%	496,5	8,6	11,9	12,3	0,02+*G*/40
Espagne	ANAV (3)	2,1%	212,8	3,7	5,1	5,3	0,0037+*G*/40
	CNAT (3)	2,1%	212,8	3,7	5,1	5,3	0,0037+*G*/40
	Iberdrola (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	Nuclenor (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
Finlande	Fortum (2)	1,4%	141,8	2,5	3,4	3,5	0,0016+*G*/40
	TVO (2)	1,4%	141,8	2,5	3,4	3,5	0,0016+*G*/40
France	EDF (58)	41,1%	4112	72,6	99,7	102,5	1,38+*G*/40
Hongrie	PACKS (4)	2,8%	283,7	4,9	6,8	7	0,006+*G*/40
Lituanie	INPP (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
Pays-Bas	EPZ (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
République Tchèque	CEZ (6)	4,3%	425,5	7,3	10,2	10,5	0,015+*G*/40
Royaume-Uni	BE (15)	10,6%	1063,8	18,5	25,6	26,4	0,092+*G*/40
	BNFL (4)	2,8%	283,7	4,9	6,8	7	0,006+*G*/40
Slovaquie	EBO (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
	SE (4)	2,8%	283,7	4,9	6,8	7	0,006+*G*/40
Slovénie	NEK (1)	0,7%	70,9	1,2	1,7	1,8	0,0004+*G*/40
Suède	Forsmark (3)	2,1%	212,8	3,7	5,1	5,3	0,0037+*G*/40
	OKG (3)	2,1%	212,8	3,7	5,1	5,3	0,0037+*G*/40
	Rhingals (4)	2,8%	283,7	4,9	6,8	7	0,006+*G*/40
Total	28 (141)	100%	10000	174,5	240,9	248,7	1,5522+*G*/40

Tableau 49.Contributions et coûts annuels individuels de chaque exploitant participant au *risk-sharing*

Que peut-on conclure à la lecture de ce tableau ? On peut constater que la différenciation du risque permet aux plus petits exploitants de payer une contribution beaucoup moins importante que les autres exploitants. La contribution minimale, pour l'exploitation d'un seul réacteur, s'élève à 70,9 millions € (soit 0,7% de la capacité du *risk-sharing*). Etant donné qu'EDF exploite à lui seul cinquante-huit réacteurs nucléaires, il devrait

contribuer pour une large (la plus large) part dans ce système (70,9 x 58 = 4112 millions €, soit 41,1% de la capacité totale). En ce qui concerne les statuts des contributions, les contributions rétrospectives semblent être les plus attractives financièrement. Bien sûr, leur coût dépend de la valeur de *G* qui est nulle dans le modèle américain. Si $G > 0$ et élevé, il est possible que les contributions rétrospectives deviennent plus chères que les autres contributions. La question centrale est celle du coût global de ce *risk-sharing*. Le Tableau 49 indique que ce coût est compris, pour la collectivité d'exploitants, entre 1,5522+*G*/40 millions € et 248,7 millions €, selon le statut des contributions. Dès lors, le *risk-sharing* est-il plus ou moins coûteux que les mécanismes actuellement utilisés pour couvrir le risque nucléaire ? Pour répondre à cette question, il faut calculer la prime d'assurance que paieraient les exploitants aux *pools* actuels et le coût qu'ils subiraient du fait de leurs réserves de propre assureur, s'ils devaient couvrir individuellement une capacité de 10 milliards € au niveau national. En s'appuyant sur les calculs effectués dans le chapitre 3 et sur la base de l'extrapolation de la prime d'assurance française actuelle (considérée comme exemple représentatif de la situation des pays membres des Conventions AEN/OCDE), on obtient une prime d'assurance égale à :

- P = 37,3 millions € par réacteur par an
- soit $\Sigma P \approx$ 5,3 milliards € par an au total pour 141 réacteurs[246]

Selon l'équation (26) du chapitre 3, le coût total des réserves s'élèverait, quant à lui, à (en millions €)[247] :

- $A_i = \left[10000 - \frac{10000.(1 - \boldsymbol{p}.\boldsymbol{n}_i)}{(1+\boldsymbol{k}_{cp})^{40}} + \sum_{t=1}^{t=40} \frac{10000.\boldsymbol{p}.\boldsymbol{n}_i}{(1+\boldsymbol{k}_{cp})^{\boldsymbol{t}}} \right] / \boldsymbol{n}_i$ par réacteur
- soit $\Sigma A_i = \begin{cases} 6745 \text{ par an au total pour 141 réacteurs si } \boldsymbol{k}_{cp} = 8{,}6\% \\ 6949 \text{ par an au total pour 141 réacteurs si } \boldsymbol{k}_{cp} = 13\% \end{cases}$

On peut noter que les réserves sont plus avantageuses pour les exploitants gérant de nombreux réacteurs puisque leur coût diminue (en proportion) avec le nombre de réacteurs exploités n_i.

[246] Soit 37,3 millions € x 141. Pour le détail de ces calculs et les primes d'assurance individuelles des exploitants, se reporter à l'Annexe 6. Ce calcul suppose que les inefficacités (et le niveau élevé) du marché de l'assurance nucléaire français se retrouvent sur les marchés de l'assurance nucléaire des autres pays européens. Cette hypothèse est crédible étant donné que les autres marchés de l'assurance nucléaire sont également organisés autour de *pools* monopolistiques d'assureurs.

[247] Pour le détail du coût individuel des réserves de chaque exploitant, se reporter à l'Annexe 6.

A première vue, pour une même couverture de 10 milliards €, le *risk-sharing* semble plus coûteux pour les exploitants que l'assurance par les *pools* nationaux, étant donné que la prime d'assurance est inférieure à la contribution individuelle (37,3 millions € < 70,9 millions €). Toutefois, contrairement aux primes d'assurance, les contributions au *risk-sharing* peuvent être réutilisées d'une année sur l'autre, si aucun n'accident ne survient sur la période. Dès lors, l'assurance est plus intéressante que le *risk-sharing* si et seulement s'il y a un accident tous les ans. Dans ce cas, le coût annuel de l'exploitant s'élèverait à 37,3 millions € avec l'assurance alors qu'il serait, avec le *risk-sharing*, égal à la contribution augmentée de son coût pour l'année en cours, soit 70,9 millions € + Z_{Cm} (avec $m = p, v, r$). Dans le cas contraire, si la fréquence d'accident est plus faible (s'il y a un accident tous les deux ans ou plus), l'assurance devient plus coûteuse. En effet, il suffit qu'il y ait un accident tous les deux ans pour que le coût de l'assurance excède celui des contributions (37,3 x 2 = 74,6 > 70,9 + Z_{Cm} x 2, avec 0,0004 ≤ Z_{Cm} ≤ 1,8, si $G = 0$). Au regard de la probabilité d'accident actuellement estimée par les EPS, (10^{-5} x 0,81 ou 10^{-5} x 0,19), on peut en déduire que l'assurance est sans aucun doute plus chère que le *risk-sharing*. Si aucun accident ne survient sur la période, cela est encore plus vrai. Le coût de l'assurance s'élèverait alors à 37,3 millions € x 40 = 1,5 milliard € par réacteur, alors que les contributions coûteraient seulement Z_{Cm} x 40, soit un coût compris entre 0,16 millions € et 72 millions € par réacteur (pour $G = 0$). Le seul cas pour lequel le *risk-sharing* pourrait s'avérer plus coûteux serait le cas où les contributions seraient rétrospectives avec un coût des garanties G = 1,4 milliards €, ce qui est prohibitif (et improbable).

Enfin, comparativement aux réserves de propre assureur, le *risk-sharing* est toujours moins coûteux pour les exploitants. Selon les coûts calculés plus haut et l'Annexe 6, si aucun accident ne survient sur la période, la constitution de 10 milliards € de réserves coûterait annuellement au plus petit exploitant (n_i = 1) 240,8 millions € (évaluation basse) ou 248,1

millions € (évaluation haute) et au plus gros exploitant (n_i = 58) 242,4 millions € (évaluation basse) ou 249,2 millions € (évaluation haute). Comme le montre le tableau suivant, sur quarante ans, ces coûts s'élèveraient respectivement à 9632 millions € ou 9924 millions € pour des exploitants tels que Nuclenor ou KKW B et à 9696 millions € ou 9968 millions € pour un exploitant comme EDF. Ces coûts seraient encore plus élevés si un accident se produisait sur la période, puisque les réserves devraient être reconstituées entre temps, à hauteur de 10 milliards €. En ce qui concerne le *risk-sharing*, nous avons vu que le coût total sur la période serait de 0,16 millions € $\leq Z_{Cm}$ x 40 $\leq$ 72 millions € (pour G = 0), pour les petits exploitants. Selon le Tableau 50, pour EDF, il serait égal à 55,2 millions € $\leq Z_{Cm}$ x 40 $\leq$ 4100 millions € (pour G = 0). Comme nous l'avons vu pour l'assurance, le seul cas pour lequel le *risk-sharing* serait plus cher que la constitution de réserves serait celui le cas où les contributions rétrospectives impliqueraient un coût de garanties prohibitif. G devrait alors s'élever, pour EDF, à au moins 9,9 milliards €, ce qui est encore moins probable que G = 1,4 milliards €.

	Coût total des réserves de propre assureur	Coût total des contributions au *risk-sharing*
Petit exploitant (n_i=1)	9632 (évaluation basse) 9924 (évaluation haute)	0,16 $\leq Z_{Cm}$ x 40 $\leq$ 72
Gros exploitant (n_i =58)	9696 (évaluation basse) 9968 (évaluation haute)	55,2 $\leq Z_{Cm}$ x 40 $\leq$ 4100

Tableau 50. Comparaison des coûts des réserves et des contributions au risk-sharing sur quarante ans (en millions €, pour une couverture de 10 milliards €, G=0)

En conclusion, le coût global du *risk-sharing* européen est clairement et substantiellement plus bas que le coût global des couvertures nationales (par l'assurance ou par la constitution de réserves) pour couvrir la même capacité de 10 milliards €. Le tableau suivant récapitule les coûts de ces trois alternatives.

Alternative	Coût total pour les 28 exploitants (par an)
Pools nationaux d'assurance	5300
Constitution de réserves de propre assureur	6745 (évaluation basse) 6949 (évaluation haute)
Risk-sharing européen	174,5 (contributions versées *ex ante*) 240,9 ou 248,7 (contributions réservées *ex ante*) 1,5522 +*G*/40 (contributions rétrospectives)

Tableau 51. Les coûts des trois alternatives possibles pour couvrir 10 milliards € de dommages nucléaires (en millions €)

L'alternative proposée ici est donc intéressante à la fois parce qu'elle est moins coûteuse pour les exploitants, parce qu'elle répartit le risque sur plusieurs industriels, qui internalisent davantage leurs coûts du risque, et parce qu'elle offre une capacité financière d'indemnisation par les exploitants quatorze fois plus élevée que celle mise en place par les récents amendements législatifs des Conventions AEN/OCDE. Néanmoins, pour qu'elle parvienne à être effectivement réalisable et à se substituer aux *pools* d'assurance actuels, plusieurs conditions doivent être remplies.

3.3. Les conditions de faisabilité d'un risk-sharing *nucléaire européen*

La mise en œuvre d'un tel *risk-sharing* européen suppose de considérer trois questions : les conséquences et les adaptations juridiques nécessaires (3.3.1), la redéfinition du rôle de l'Etat (3.3.2) et enfin, les conditions pratiques de financement et de faisabilité (3.3.3).

3.3.1. Conséquences juridiques : de nouveaux amendements aux Conventions

Quelque soit son mode de financement, la mise en oeuvre de cet accord horizontal de partage de risque a trois conséquences juridiques.

En premier lieu, notre modèle s'est appuyé dès le départ sur l'hypothèse selon laquelle les exploitants nucléaires étaient soumis à une règle de responsabilité illimitée. L'application de cette règle est aujourd'hui possible dans le cadre des Conventions AEN/OCDE. Certains pays qui le désirent peuvent librement imposer une responsabilité illimitée à leurs exploitants nucléaires comme c'est par ailleurs le cas, déjà aujourd'hui, de l'Allemagne. Cependant, le principe en vigueur dans le texte des Conventions reste la règle de responsabilité limitée. Aussi, ce principe devrait-il être modifié.

En deuxième lieu, les Conventions AEN/OCDE devraient également subir un autre amendement étant donné qu'avec la mise en place du *risk-sharing* européen, la couverture du risque nucléaire ne serait plus financée sur fonds publics. Dans les Conventions AEN/OCDE actuelles, un montant substantiel de dommages est financé par les Etats qui assistent ainsi gratuitement leurs exploitants. De plus, du fait de leur responsabilité limitée, les exploitants bénéficient d'une subvention implicite de couverture (calculée et analysée dans le chapitre 2). Dès lors, en mettant en place une responsabilité illimitée et une couverture exclusivement financée par les exploitants, l'assistance étatique et la subvention implicite seraient abrogées.

Enfin, il est envisageable, conformément au modèle américain du *Price-Anderson Act*, que les Conventions AEN/OCDE actuelles soient remplacées par une nouvelle convention qui fournirait le cadre et l'assise institutionnelle pour un accord de *risk-sharing* entre exploitants. Cette nouvelle Convention devrait, par exemple, réglementer le paiement des indemnisations aux victimes à travers une agence créée à cet effet, ainsi que la manière dont l'Agence doit exiger les contributions (*ex ante* ou *ex post*) des exploitants. Etant donné que le *risk-sharing* proposé concerne l'Europe et n'inclut que des membres de l'UE, on peut alors imaginer que les institutions d'Euratom pourraient prendre en charge cette responsabilité, avec la création d'une Agence Européenne de Réglementation Nucléaire (appelée AERN), modelée sur la NRC (*Nuclear Regulatory Agency*) américaine. Par ailleurs, avec l'élargissement récent de l'UE de 2004 et 2007 et l'adhésion de nouveaux pays nucléarisés, la Commission Européenne a défendu la nécessité d'effectuer des changements réglementaires indispensables à Euratom, qui n'a jamais fait l'objet de véritables adaptations depuis sa création en 1957. De plus, dans la perspective du 7ème programme-cadre d'Euratom (2007-2011), la Commission a répété son soutien à l'énergie nucléaire comme une des solutions possibles pour combattre l'effet de serre et assurer une certaine sécurité d'approvisionnement énergétique en Europe. Dans ce contexte, la mise en place d'un *risk-sharing* européen pour la couverture du risque nucléaire, ainsi que les adaptations juridiques qu'elle implique, semblent tout à fait appropriées et pourraient s'insérer dans ce vaste programme.

Dans cette nouvelle configuration, quel serait alors désormais le rôle de l'Etat ?

3.3.2. La redéfinition du rôle de l'Etat : de l'assistance à la régulation

En principe, dans un accord de *risk-sharing* il n'y a pas nécessairement de place pour l'Etat ou les autorités publiques, puisqu'il est conclu entre les exploitants eux-mêmes. Toutefois, étant donné l'ampleur de l'externalité causée par un accident nucléaire et la

dimension "bien public" que revêt un tel accord, il est nécessaire que les gouvernements interviennent pour encadrer l'accord, et plus particulièrement l'indemnisation des victimes. Il pourrait alors être prévu que les Etats garantissent cette indemnisation au niveau européen, exclusivement en dernier recours, pour les cas où, dans des circonstances exceptionnelles, le *risk-sharing* serait insolvable. Cette garantie pourrait être prise en charge par la même agence européenne précitée, l'AERN. Outre la fixation des règles de constitution des contributions des exploitants, l'autre mission de cette agence réglementaire serait alors de les collecter puis d'indemniser les victimes. Dans le cas des contributions versées ou réservées *ex ante*, les fonds seraient immédiatement disponibles auprès de l'Agence. Dans le cas des contributions rétrospectives, on peut imaginer que l'Agence préfinance les réparations et exige, dans un second temps, les sommes dues aux exploitants (comme le fait aujourd'hui la NRC). Tant que les contributions restent reliées au risque, et donc au niveau de précaution et d'activité des exploitants, ce rôle de l'Etat ne pose pas de problème. Il est même souhaitable dans la mesure où il rendrait l'indemnisation plus rapide et plus sûre. Néanmoins, ce rôle devrait être joué de telle sorte que la supériorité d'expertise des exploitants en termes de sûreté des réacteurs soit aussi utilisée pour déterminer le critère de différenciation des contributions. De plus, l'Etat pourrait aussi fixer les garanties acceptables annuellement pour chaque exploitant si les contributions sont rétrospectives. Les autorités publiques conserveraient aussi un rôle central dans le contrôle du respect des normes de sûreté par les exploitants. C'est par l'intermédiaire du "groupe européen de haut niveau sur la sûreté nucléaire", mentionné plus haut, dont l'UE s'est dotée en 2007 que cette mission pourrait s'effectuer.

Ce montage pourrait être mis en place à travers un partenariat public/privé (PPP) et présenterait l'avantage que le gouvernement administrerait simplement le risque, sans le couvrir lui-même. Dès lors, sans financement public, le défaut d'internalisation des coûts du risque, du fait de l'assistance étatique, ne serait plus. Cette redéfinition du rôle de l'Etat dans l'indemnisation des victimes d'un accident catastrophique est conforme avec la tendance actuelle selon laquelle les gouvernements joue de plus en plus un rôle complémentaire, particulièrement pour les cas où les marchés de l'assurance seraient défaillants. Ce type de structure a été analysé plus haut avec, notamment, le *California Earthquake Authority* qui facilite le fonctionnement des marchés de l'assurance pour la couverture des risques naturels. De la même manière, les Etats encadrent juridiquement les FIPOLs dans la couverture du risque de pollution maritime par les hydrocarbures mais ne financent pas les réparations, qui n'incombent qu'aux propriétaires des pétroliers.

Skogh (2007) propose de transférer la responsabilité en cas d'accident nucléaire à l'Etat. Il justifie cet argument par le fait que l'Etat influence le risque par les autorisations qu'il accorde aux électriciens pour exploiter leurs installations nucléaires. La responsabilité resterait objective. Cependant, à notre sens, cette proposition n'est pas satisfaisante. En effet, elle retirerait toute responsabilité aux auteurs du risque et renforcerait alors leur protection et le défaut d'incitations *ex ante* à la prévention. La réglementation de sûreté demeurerait donc l'unique instrument pour les fournir.

Enfin, si les ressources des exploitants le permettent, la capacité de 10 milliards € du *risk-sharing* pourrait être augmentée. Dans le cas contraire, si les contributions devenaient trop lourdes pour les participants, l'Etat pourrait alors jouer le rôle de réassureur pour accroître encore la couverture totale du risque. Il ferait alors payer une prime de réassurance aux exploitants, comme un véritablement acteur du marché. Comme nous l'avons vu plus haut, ce type de réassurance étatique est de plus en plus courant, notamment pour la couverture des risques naturels et terroriste. D'aucuns pourraient objecter, toutefois, que le problème du calcul et de la transparence de cette prime pourrait se poser. De plus, les primes de réassurance ne seraient pas récupérables par les exploitants, en cas de non-survenance de l'accident, à moins qu'il soit explicitement prévu que les primes soient collectées et accumulées dans un fonds d'indemnisation. Ces primes de réassurance seraient alors assimilables à des taxes prélevées sur les électriciens nucléaires, sur le modèle des FIPOLs.

Cependant, le montage économique et juridique mis en place par les Conventions AEN/OCDE est marqué d'une empreinte institutionnelle et politique très forte. Cette empreinte peut représenter alors une barrière importante à la mise en œuvre du *risk-sharing* proposé ici. Pour y parvenir, un certain nombre d'obstacles devraient être franchis.

3.3.3. Les conditions de mise en place : les obstacles institutionnels et politiques

L'étude menée ici montre comment un partage de risque horizontal pourrait être mis en place et financé pour la couverture du risque nucléaire à l'échelle européenne. Il ne s'agit pas de dire si ce mécanisme sera ou non effectivement appliqué en Europe. Cette question relève davantage d'un choix politique. Cette application est théoriquement possible. Le modèle du *Price-Anderson Act* en est la preuve. En Europe, le nombre de réacteurs nucléaires est même plus élevé qu'aux Etats-Unis (141 retenus dans le *risk-sharing* et 144 avec les réacteurs

bulgares et Roumains contre 104 aux Etats-Unis). Il est donc théoriquement envisageable qu'un tel modèle soit mis en place en Europe. Cependant le modèle proposé et le modèle américain présentent des différences institutionnelles et politiques importantes.

Premièrement, le *Price-Anderson Act* est établi par le régulateur américain comme le résultat d'un processus de discussion ouvert et transparent où tous les intérêts (pas seulement celui du *lobby* nucléaire) peuvent être entendus. De ce fait, il n'est pas surprenant que, dans le cadre du *Price-Anderson Act*, un transfert ait été opéré d'un système initialement financée en majeure partie par l'Etat à un système dans lequel l'intervention (financière) de l'Etat a disparu. Dans le contexte européen, les Conventions (qui sont mises en place par les Etats) sont rédigées par l'AEN et l'OCDE. Dans ces agences, des experts techniques des pays participants interviennent et préparent les propositions législatives. Le processus par lequel ces propositions sont faites est très opaque. Comme la littérature de l'école du *public choice* le montre, dans un tel contexte, la probabilité que le *lobby* nucléaire soit favorisé est élevée (Krueger, 1974 ; Tullock, 1980). Après que les Conventions ont fixé le cadre juridique, les Etats membres doivent l'appliquer sur leur territoire national sans qu'aucune discussion interne n'ait lieu. Dès lors, en Europe, le pouvoir législatif manque d'un contrepouvoir qui représenterait l'intérêt public dans les pays membres en imposant un contrepoids au *lobby* nucléaire. Dans cette perspective, il a été montré dans la littérature que la législation relative à la RCN peut être largement considérée comme étant le résultat d'un *lobbying* efficace de groupes d'intérêts (Faure et Vanden Bergh, 1990). Par ailleurs, comme Dussart-Desart (2005) l'explique : *"l'organisation encadrée de pools volontaires d'exploitants avait été envisagée un temps lors des négociations à Vienne en 1997, mais n'a finalement pas recueilli un soutien suffisant"* (p.11). On peut alors imaginer que c'est seulement lorsque l'opinion publique en Europe prendra conscience du fait que l'industrie nucléaire bénéficie de larges privilèges que des pressions de sa part pourront faire tendre les Conventions vers les amendements nécessaires.

Deuxièmement, dans le modèle américain, où la technologie nucléaire est comparable entre les Etats et où l'information circule librement entre eux, il est relativement facile pour les vingt-six exploitants des 104 réacteurs nucléaires de se contrôler mutuellement en termes de sûreté, de niveau d'activité et de solvabilité. Ainsi, aux Etats-Unis, un accord de *risk-sharing* fondé sur une base mutuelle et solidaire sera accepté également par les exploitants puisqu'ils peuvent, à moindre coût, contrôler leurs concurrents. Cependant, en Europe, un tel contrôle risque de s'avérer plus difficile. Une des raisons en est qu'en Europe, il y a

coexistence entre des exploitants publics (comme en France[248]) et des exploitants privés. Or, ces différences de statuts ne les mettent pas sur un même pied d'égalité en termes de ressources disponibles et de protection juridique contre par exemple, la faillite. Pour les exploitants européens qui seraient enclins à s'engager dans un accord de *risk-sharing*, il est crucial qu'ils puissent contrôler la solvabilité et la sûreté des installations de leurs partenaires. Une des conséquences de ce contrôle est, en effet, que chaque exploitant européen soit rendu responsable de contribuer à la réparation d'un accident quelque soit son lieu de survenance. De plus, si un partenaire présentait un problème de solvabilité, la contribution des autres augmenterait pour compenser ce défaut. Ainsi, pour rendre le fonctionnement du *risk-sharing* faisable et efficace, une condition majeure serait qu'un cadre institutionnel soit créé par lequel les exploitants pourraient avoir la certitude qu'ils peuvent, soit contrôler eux-mêmes les autres, soit faire confiance en l'Agence réglementaire pour s'en charger.

Enfin, rappelons que les montants d'indemnisation des victimes d'accidents nucléaires disponibles en Europe sont très bas également parce qu'une large part de la capacité financière assurée par les *pools* est en fait réservée à l'assurance-dommages des installations nucléaires (Dow, 1985). Ce fait a été mentionné dans le chapitre 3 et a déjà fait l'objet d'avertissements, formulés en 1984 lors de la Conférence de l'OCDE de Munich. Si la priorité doit être donnée à l'indemnisation des victimes, il est donc crucial de séparer le montant disponible pour la RC de la couverture des dommages à l'installation elle-même. C'est précisément l'un des objectifs de l'alternative proposée.

En conclusion, on peut dire qu'un accord horizontal de partage du risque nucléaire à l'échelle européenne serait plus efficace que les mécanismes actuellement utilisés pour couvrir ce risque dans les pays européens. Ce système de couverture multinationale présente des avantages indéniables. D'abord, il offre une capacité d'indemnisation et de réparation substantiellement plus élevée que la capacité aujourd'hui disponible. Ensuite, il accroît largement la part des coûts du risque internalisés par les exploitants, en leur faisant supporter la totalité de la charge de la couverture. Il permet également de répartir le risque entre différents exploitants, générant tous le même type de risque et tous potentiellement la cause de dommages transfrontaliers. De là, il autorise aussi une répartition des coûts entre les membres. Cette répartition des coûts est d'autant plus bénéfique qu'elle est équitable puisque

[248] EDF a ouvert 15% de son capital en Bourse depuis le 21 novembre 2005 et reste donc majoritairement propriété de l'Etat.

reliée au risque. Afin de permettre une différenciation efficace du risque, le choix a été fait de n'inclure dans l'accord que les exploitants soumis au respect du même niveau de sûreté nucléaire. Quant à leur niveau d'activité, il a été déterminé par le nombre de réacteurs exploités par chaque membre. A partir de ces critères de différenciation, treize pays européens ont été retenus pour l'alternative. Les calculs ont ensuite permis d'évaluer précisément les coûts de chaque participant afin de saisir la dimension concrète du financement de cet accord. Ainsi, il a été montré que le *risk-sharing* présentait un dernier avantage : il est beaucoup moins coûteux que ses alternatives actuelles. Face à ce bilan, il est donc étonnant qu'un tel mécanisme, inspiré du modèle américain, ne soit pas encore au moins à l'étude en Europe. A cet égard, nous avons montré qu'une prise de conscience de l'opinion publique serait sans doute nécessaire pour impulser ce changement et que plusieurs obstacles institutionnels et politiques devraient être franchis.

4. Conclusion

Au regard des inefficacités actuelles de la couverture du risque nucléaire, l'objectif de ce chapitre était de proposer une alternative pour les exploitants nucléaires des pays européens. Les exigences que devaient satisfaire cette alternative étaient de trois ordres. Premièrement, elle devait élargir la capacité financière actuellement disponible pour l'indemnisation des victimes et la réparation des dommages d'un accident nucléaire. Deuxièmement, elle devait permettre de réhabiliter l'internalisation des coûts du risque en faisant supporter toute la charge de la couverture aux exploitants eux-mêmes. Enfin, elle devait minimiser les coûts de couverture pour la collectivité des exploitants.

En analysant les mécanismes alternatifs existants pour la couverture d'autres risques catastrophiques, la section 2 de ce chapitre a permis de mettre en lumière une alternative capable de satisfaire ces exigences. Le mécanisme sur lequel l'attention a été portée est celui du partage horizontal du risque entre industriels ou *risk-sharing*. Ce mécanisme présente, en effet, de nombreux avantages par rapport aux réponses assurancielles apportées par le marché à la couverture du risque nucléaire depuis les années 1960 (réponses analysées dans le chapitre précédent). L'examen de ces avantages a montré que le *risk-sharing* était plus intéressant en termes d'information requise et plus efficace en termes de contrôle et de coûts.

Dès lors, la section 3 avait pour but d'étudier le fonctionnement et la faisabilité d'un tel mécanisme appliqué à l'échelle européenne. Le modèle américain du *Price-Anderson Act* a été

pris comme source d'inspiration. Si l'idée d'un *risk-sharing* avait déjà été mentionnée dans la littérature, cette alternative n'avait cependant pas fait l'objet d'une analyse concrète quant à ses participants et son financement. L'étude du fonctionnement du *risk-sharing* proposé s'est donc accompagnée d'une analyse détaillée des critères d'éligibilité des membres de l'accord ainsi que de la manière dont ces membres devraient y contribuer financièrement. Trois statuts de contributions ont été distingués, impliquant chacun des règles de constitution et des coûts spécifiques. Dans le cadre de ce *risk-sharing*, le rôle de l'Etat a été redéfini comme un régulateur (éventuellement aussi un réassureur) et non plus comme une source de financement des réparations. Sa mission se consacrerait alors à veiller au respect des règles de l'accord par les membres. Son rôle indispensable dans la réglementation de sûreté resterait inchangé. Enfin, malgré la faisabilité théorique de ce montage à l'échelle européenne, la difficulté pratique de son application a été soulignée. Les obstacles à sa mise en place proviendraient essentiellement d'une réticence institutionnelle et politique à reconsidérer le système existant depuis cinquante ans.

Le chapitre 4 conclut donc sur la faisabilité théorique et sur la supériorité économique d'un partage horizontal du risque nucléaire par les exploitants européens, par rapport aux *pools* d'assurance nucléaire existants et aux réserves de propre assureur. D'une part, cette alternative serait plus efficace *ex ante* car elle implique une plus large internalisation des coûts du risque par les exploitants et leur fournit davantage d'incitations à la prévention des accidents. D'autre part, elle serait plus efficace *ex post* car elle décuple les montants disponibles pour la réparation des dommages et l'indemnisation des victimes.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

La deuxième partie était consacrée à l'analyse de la dimension *ex post* de la gestion du risque nucléaire en Europe. L'objectif était d'examiner dans quelle mesure la couverture actuelle du risque nucléaire était efficace. Son efficacité était définie comme sa capacité à concilier les deux critères suivants : maximiser l'indemnisation des victimes tout en minimisant les coûts pour les exploitants. Parce qu'elle implique aussi que la charge de la couverture soit intégralement supportée par les exploitants, une couverture du risque efficace va donc aussi dans le sens de l'internalisation coasienne et influence donc la dimension *ex ante* de la gestion du risque. Toutefois, l'analyse effectuée dans cette partie a montré que la couverture actuelle du risque nucléaire en Europe n'était pas satisfaisante au regard de ces critères. Dès lors, la gestion du risque nucléaire devait être reconsidérée dans sa dimension assurancielle.

Ainsi, le chapitre 3 avait pour objectif d'examiner le marché actuel de l'assurance nucléaire, à la lumière des critères d'efficacité retenus. Etant donné l'argument d'inassurabilité avancé par les rédacteurs des Conventions AEN/OCDE et les caractéristiques spécifiques du risque nucléaire, la réaction des assureurs a été d'abord d'exclure ce risque de leurs polices standards pour ensuite se concentrer sur le marché au sein de *pools*. Cette concentration avait pour but de rendre le risque nucléaire assurable en regroupant à la fois les ressources financières, les connaissances sur le risque et les compétences des assureurs. Elle était également soutenue par une exemption au droit de la concurrence. De là, le chapitre 3 a montré que cette offre assurancielle monopolistique et nationale était très coûteuse pour les exploitants nucléaires et, de surcroît, demeurait limitée en capacité. L'exemple de la France a alors été repris, avec une place particulière accordée à son mécanisme spécifique de couverture combinant recours au *pool* et réserves de propre assureur. Ce montage assuranciel a notamment été examiné au regard des derniers amendements législatifs apportés aux Conventions AEN/OCDE par les Protocoles de 2004. Le chapitre 3 a alors conclu que la couverture du risque nucléaire était inefficace, en particulier pour répondre aux nouvelles exigences imposées par ces Protocoles.

Le chapitre 4 avait ensuite pour objectif de proposer une alternative à la couverture actuelle du risque nucléaire en Europe, en s'inspirant des mécanismes assuranciels utilisés aujourd'hui pour couvrir d'autres risques catastrophiques. L'intérêt a alors été porté sur les accords de *risk-sharing*. L'alternative proposée était plus précisément fondée sur un partage

horizontal du risque entre exploitants nucléaires à l'échelle européenne, suivant le modèle américain. L'analyse de cette alternative a montré qu'elle pouvait à la fois augmenter les montants disponibles pour indemniser les victimes et réparer les dommages d'un accident et minimiser les coûts pour les exploitants. En effet, d'une part, grâce au *risk-sharing*, la couverture des dommages par les seuls exploitants pourrait atteindre 10 milliards € par accident (cent fois plus que le plafond actuellement en vigueur en France) et d'autre part, la répartition des coûts du risque pourrait être plus équitable par une différenciation des contributions reliées au risque. La capacité de 10 milliards € a été choisie à dessein car elle représente la coût d'un accident nucléaire majeur (selon le scénario le moins pessimiste issu des estimations des EPS). Cette capacité pourrait être encore accrue, soit par une hausse des contributions des explotiants, soit par un partenariat public/privé par lequel l'Etat deviendrait réassureur. En comparant la capacité des *pools* actuels d'assurance et des réserves de propre assureur à offrir une même capacité de 10 milliards €, l'analyse a également montré que, sans aucun doute, le *risk-sharing* européen présentait un avantage indéniable en termes de coût.

La deuxième partie conclut ainsi sur le fait qu'un *risk-sharing* nucléaire européen garantirait une gestion du risque d'accident plus efficace *ex post*. Ce type de montage assuranciel serait certainement soutenu par l'opinion publique. Seuls des obstacles institutionnels et politiques pourraient en freiner la mise en oeuvre.

CONCLUSION GENERALE

"Le XXIème siècle vient tout juste d'avoir cinq ans. Et déjà l'on connaît pour grande partie quel sera son caractère d'adolescent : il sera fait de catastrophes plus nombreuses, plus dévastatrices, et plus coûteuses. Elles le seront d'autant plus que les pays touchés ne seront pas suffisamment préparés au plus haut niveau décisionnel des gouvernements et au sein des états-majors de grands groupes industriels" (Michel-Kerjan, 2006, p.23). Par ces mots, Michel-Kerjan soulève un problème majeur : celui de la gestion des risques catastrophiques, à l'origine de vulnérabilités nouvelles.

Sans être aussi alarmiste, ce travail avait pour objectif précisément de s'interroger sur la gestion d'un de ces risques : le risque nucléaire. Comparativement à d'autres industries risquées, l'histoire de la production d'énergie nucléaire civile ne fournit que très peu d'expérience en matière de catastrophes : une seule en cinquante ans d'activité. Et pourtant, l'accident de Tchernobyl a suffi à cristalliser les craintes pour des décennies. Il a révélé de nombreuses faiblesses concernant la gestion du risque nucléaire, tant au niveau de la sûreté des installations que de l'indemnisation des victimes. Déjà associée à tort aux bombardements atomiques japonais de 1945, la production d'énergie nucléaire n'a, depuis, de cesse d'être décriée. Alors que des pays, comme la France, ont toujours montré un soutien sans faille à ce type d'énergie, beaucoup ont longtemps été réticents à l'envisager tandis que d'autres affichent encore un refus catégorique. Le contraste entre les choix politiques en la matière est saisissant. Cependant, malgré le risque qu'elle génère sur l'environnement et la santé, l'énergie nucléaire retrouve un second souffle depuis quelques années. Si le XXème siècle s'est refermé sur des catastrophes sans précédents, le XXIème siècle doit faire face à de nouveaux risques, au premier rang desquels l'effet de serre et le déficit d'approvisionnement énergétique. Depuis la conférence de Rio en 1992, ces deux problématiques sont les préoccupations centrales des politiques énergétiques. En matière d'environnement, le combat contre l'effet de serre se présente comme la priorité : réduire le recours aux énergies fossiles, qui par ailleurs se raréfient, en s'orientant vers des alternatives sans carbone. Quant à la sécurisation de l'approvisionnement, elle implique de garantir, dans un délai court, un accès à l'énergie pour tous, à moindre coût. Dans un tel contexte, les énergies renouvelables remportent un franc succès dans beaucoup de pays qui ont entamé de vastes programmes d'investissement et de recherche pour les développer. Toutefois, l'intérêt de ces énergies reste encore trop insuffisant, au niveau international, pour satisfaire, à moyen terme, les nouveaux impératifs

environnementaux et économiques. Dès lors, en tant que source d'énergie compétitive, abondante et sans carbone, l'énergie nucléaire retrouve sa place dans les débats énergétiques. De nouveaux réacteurs nucléaires sont d'ores et déjà en construction dans le monde (trente-deux, dont la moitié dans des pays en développement) et l'Union Européenne a récemment renouvelé son soutien en faveur du lancement de nouveaux programmes électronucléaires.

Dans cette perspective, la question de la gestion du risque nucléaire se pose à nouveau. Etant donné son caractère catastrophique et incertain, le risque nucléaire a toujours fait l'objet d'une gestion spécifique, depuis les années 1950. Ainsi, en se focalisant sur l'Europe, ce travail avait pour objectif de répondre à la question suivante : la gestion du risque nucléaire est-elle efficace ? La gestion d'un risque présente une double dimension. Elle était définie ici comme l'association d'une part, d'un régime de responsabilité civile capable de fournir les incitations nécessaires à l'internalisation et la prévention du risque au responsable désigné comme tel et, d'autre part, d'une couverture du risque qui maximise l'indemnisation des victimes. L'instauration d'un régime de responsabilité civile incitatif correspond à la dimension *ex ante* de la gestion du risque nucléaire. Le montage assuranciel mis en place pour couvrir les dommages, en cas d'accident, correspond, quant à lui, à sa dimension *ex post*. La prévention et la couverture ont donc été traitées comme les deux faces d'un même problème. Ce travail se concentrait exclusivement sur les accidents nucléaires pouvant survenir sur les centrales de production. Pour la France, il ne concernait donc que l'exploitant unique EDF.

De là, la première partie de ce travail avait pour objectif d'examiner la dimension incitative de la gestion du risque nucléaire. Pour ce faire, elle s'est appuyée sur l'analyse du régime de responsabilité civile nucléaire actuellement en vigueur en Europe. En particulier, les textes des Conventions de Paris (1960) et de Bruxelles (1963) ont fait l'objet d'un examen détaillé. Mises en place par l'AEN et l'OCDE, ces Conventions avaient pour objectifs initiaux de protéger les victimes des accidents, de rendre le risque assurable et de soutenir le développement de l'énergie nucléaire. De ce fait, leurs principes de responsabilité sont spécifiques et dérogent au droit commun. Ces principes ont été étudiés du point de vue de leur efficacité, c'est-à-dire de leur capacité à respecter l'internalisation coasienne du risque. Ainsi, nous avons montré que le régime de responsabilité civile nucléaire AEN/OCDE était inefficace, en dépit de tentatives d'améliorations depuis cinquante ans. En premier lieu, il ne parvient pas à fournir les incitations suffisantes à la prévention des accidents. En limitant financièrement (et fortement) la responsabilité et en la canalisant sur les seuls exploitants, le régime AEN/OCDE est insuffisamment incitatif. Ensuite, il va à l'encontre de son objectif

prioritaire en prévoyant des montants d'indemnisation bien inférieurs au coût estimé d'un accident majeur. Enfin, le régime AEN/OCDE est très favorable à l'industrie nucléaire. D'une part, il protège l'exploitant d'une part de sa responsabilité en faisant intervenir, pour partie, les Etats à sa place dans le financement de l'indemnisation. D'autre part, il lui procure une subvention implicite, en l'allégeant d'une part de ses coûts de couverture. Le cas de la France a été pris comme exemple représentatif de la situation des autres pays européens membres des Conventions AEN/OCDE. Le résultat en est que le risque d'accident nucléaire n'est que partiellement internalisés par les exploitants.

La première partie a ainsi conclu à une inefficacité de la gestion du risque nucléaire dans sa dimension *ex ante*. Nous nous sommes prononcés en faveur de la suppression du plafond de responsabilité et du transfert de la charge de la couverture sur les seuls exploitants.

La seconde partie de ce travail était ensuite consacrée à l'examen de la dimension *ex post* de la gestion du risque nucléaire en Europe. Cet examen exigeait deux étapes. La première consistait à analyser le marché de l'assurance nucléaire pour en évaluer la capacité à maximiser l'indemnisation des victimes tout en minimisant les coûts pour les exploitants. A cet égard, nous avons montré que l'offre proposée par les assureurs n'était pas satisfaisante. D'une part, structurée autour de *pools* nationaux et monopolistiques, cette offre est très coûteuse pour les exploitants. D'autre part, du fait de l'existence d'un plafond de RC et de la réticence des assureurs à couvrir ce risque, la capacité financière du marché reste très limitée. La démonstration s'est appuyée à nouveau sur le cas français pour démontrer le niveau excessif de la prime d'assurance actuellement payée par l'exploitant. En outre, le cas particulier de la couverture de l'exploitant EDF, fondée en partie sur la constitution de réserves de propre assureur, a retenu notre attention. Nous avons donc également évalué le coût de ces réserves. De là, la question de la couverture du futur plafond de responsabilité, mis en place par les derniers amendements législatifs de 2004, a été examinée. Nous avons alors montré que, quelque soit sa recombinaison assurancielle, l'exploitant nucléaire français aurait intérêt à abandonner le recours au *pool* d'assurance comme solution de couverture soutenable à long terme. Les réserves mises à part, cette conclusion a été généralisée à l'ensemble des exploitants européens qui subissent le même type d'inefficacités du fait de l'organisation similaire de leurs marchés de l'assurance nucléaire. Dès lors, le défi a consisté à proposer une alternative à cette couverture. S'inspirant des mécanismes assuranciels existant pour couvrir d'autres risques catastrophiques, notre intérêt s'est porté sur les accords horizontaux de partage de risque entre industriels ou *risk-sharing*. La coexistence actuelle d'un régime de RCN international et d'une

couverture nationale du risque présentait des incohérences. L'alternative proposée était alors fondée sur ce type d'accord entre les exploitants nucléaires à l'échelle européenne. Cette échelle a été justifiée par le fait que les pays nucléarisés de l'UE ont un régime de RCN commun, qu'ils génèrent tous le même type de risque et qu'ils sont tous soumis au respect du même niveau de sûreté en vertu d'une Convention EURATOM commune. L'idée, brièvement mentionnée dans la littérature, n'avait cependant jamais fait l'objet d'une analyse approfondie comprenant les détails pratiques des candidats éligibles à ce type d'accord, de ses modalités de financement ou encore de ses conditions de faisabilité. Nous avons ainsi comblé cette lacune en montrant qu'une telle alternative pouvait à la fois décupler les montants d'indemnisation disponibles et faire supporter l'intégralité de la charge de couverture aux seuls exploitants. Le rôle de l'Etat a ainsi été redéfini comme un régulateur.

La seconde partie a ainsi conclu sur l'inefficacité de la gestion actuelle du risque nucléaire dans sa dimension compensatoire et a ouvert des perspectives nouvelles en proposant une alternative faisable, à l'image de ce qu'il existe aux Etats-Unis ou pour d'autres risques de même dimension.

Par cette démarche en deux étapes, le travail a alors montré que, pour faire valoir l'intérêt et la crédibilité du lancement de nouveaux programmes électronucléaires en Europe, la gestion du risque nucléaire (dans ses deux dimensions *ex ante* et *ex post*) devait être profondément reconsidérée. La mise en place effective des propositions émises dans ce travail (RC illimitée et *risk-sharing* européen) est théoriquement faisable. Toutefois, comme ce travail l'a souligné en fin d'analyse, de lourds obstacles institutionnels et politiques risquent fort de l'entraver. A cet égard, nos conclusions ouvrent la voie sur plusieurs questions qui mériteraient des recherches ultérieures.

Une de ces questions concerne, en particulier, l'analyse approfondie de ces obstacles institutionnels et politiques. La réflexion consisterait alors à se demander pourquoi la communauté internationale continue d'accepter et de défendre un tel régime favorable à l'industrie nucléaire, alors que les arguments de protection de l'industrie naissante et d'inassurabilité du risque nucléaire ne sont plus justifiés aujourd'hui. Une analyse rigoureuse de type *public choice* sur l'influence potentielle de l'industrie nucléaire sur la législation internationale serait certainement utile pour y répondre. Ce travail a mentionné plusieurs fois cet aspect, en évoquant cette activité de *lobbying*, sans s'y attarder plus avant. La littérature sur la théorie des jeux pourrait également fournir de bons outils au traitement de cette question.

Une autre question laissée ouverte concerne le devenir de la subvention implicite de RC de l'exploitant (calculée dans le chapitre 2), dans le contexte actuel de déréglementation des marchés électriques. En effet, bien qu'il était certainement difficile de justifier cette subvention implicite, d'un point de vue économique, lorsque l'énergie nucléaire en était au début de son développement, l'industrie bénéficiait néanmoins d'un soutien politique fort, nourri de l'optimisme important qui régnait dans les années 1950 quant à la croyance dans les bienfaits de cette nouvelle source d'énergie. Cependant, le contexte économique et politique a changé et nous pouvons nous interroger sur l'acceptation générale d'une telle situation aujourd'hui. Bien entendu, la relation entre déréglementation et suppression de la subvention implicite ne revêt pas qu'une dimension économique et sa dimension politique est prégnante. Avec la déréglementation des marchés, l'emprise du gouvernement sur le secteur de l'énergie nucléaire, et plus généralement électrique, va se réduire (excepté dans le domaine de la sûreté) et la question de la suppression du plafond de RC de l'exploitant se posera sans doute, au modèle de l'Allemagne. Néanmoins, savoir si la subvention implicite sera effectivement abrogée avec la déréglementation des marchés est une question qui devra probablement être déterminée par une décision politique explicite.

BIBLIOGRAPHIE

Abdellaoui, M., Munier, B. et Leblanc, G. (1995), *La transformation subjective des probabilités face au risque : le cas de l'exposition aux rayonnements ionisants*, Rapport CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-239, décembre.

Abraham C. et Thédié J. (1960), "Le prix d'une vie humaine dans les décisions économiques", *Revue française de recherche opérationnelle,* vol. 16, 3ème trimestre, pp. 157-167.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) - Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2006), *Société civile et radioprotection : les enseignements de Tchernobyl, 20 ans après*, un Rapport du Comité de la radioprotection et de la santé publique (CRPPH), OCDE, Paris.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) (2004), *Rapport annuel*, OCDE, Paris, France.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) - Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2000a), *Evaluation des conséquences économiques d'un accident nucléaire*, Paris, France.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) - Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2000b), "L'accident de Tokai-Mura au Japon – Aspects de responsabilité civile nucléaire et de réparation", *Bulletin de droit nucléaire*, n°66, pp. 14-22.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) (1995), *Tchernobyl, dix ans déjà. Impact radiologique et sanitaire*, OCDE, Paris.

Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) (1994), *Power Generation Choices: Costs, Risks and Externalities*, OCDE, Paris.

Akerlof, G. (1970), "The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 84(3), pp. 488-500.

Allais, M. (1953), "Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école Américaine", *Econometrica*, vol. 21, pp.503-546.

Andris, D., Galey, G., Reitsma, S. et Walker, R. (2003), *Les risques nucléaires dans l'assurance dommages et les limites de l'assurabilité*, *Focus Report*, Swiss Re, Zurich.

AREVA, (2006), *Rapport Annuel*.

AREVA, (2002), "Energies, quel scénario pour 2050 ?" *Alternatives*, n°1.

Aronsson, T., Backlund, K. et Löfgren, K.G. (1998), " Nuclear Power, Externalities and Non-Standard Pigouvian Taxes", *Environmental and Resource Economics*, vol. 11(2), pp.177-195.

Arrow, K. (1965), *Aspects of the Theory of Risk-Bearing*, éd. Yrjö Hahnsson Foundation, Helsinki.

Arrow, K.J. et Fisher, A.C.. (1974), "Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility", *Quaterly journal of economics*, vol. 88, p. 312-319.

Assurpol (2006), *Assurpol en bref*, 15 mai, Paris.

Atkins, S. (2002), "*Pool* Re", dans *Points de Vue - Études et commentaires sur l'Assurance du terrorisme. Les solutions de marché en Europe*, PartnerRe, décembre.

Autorité des Marchés Financiers (AMF) (2001), "Quelques points d'actualité comptable", *Bulletin mensuel COB* (Commission des Opérations de Bourse), octobre, n°361.

Babuziaux, C. (2000), *L'assurance récolte et la protection contre les risques en agriculture*, Rapport pour le Ministère de l'Agriculture et de la pêche et le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, 1er octobre.

Balakrishnan, N. (1992), *Handbook for the logistic distribution*, éd. N. Balakrishnan, New York, Basel, Hong Kong.

Banque de France (2006a), "Les taux d'intérêt sur les dépôts. France", *StatInfo*, 14 novembre.

Banque de France (2006b), "Les taux d'intérêt sur les crédits et les montants des contrats échéancés nouveaux. France", *StatInfo*, 14 novembre.

Barré, B. (2001), "Les réacteurs de petite et moyenne puissance d'hier et d'aujourd'hui pour la production d'énergie", *Revue générale nucléaire*, SFEN, n°6, pp. 29-32.

Bataille, C. et Birraux, C. (2003), *La durée de vie des centrales nucléaires et les nouveaux types de réacteurs*, Rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, n°832.

Bataille, C. et Galley, R. (1997/1998), *L'aval du cycle nucléaire*, Rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, n°612.

Bataille, C. et Galley, R. (1999), *Rapport sur l'aval du cycle nucléaire, Tome II : Les coûts de production de l'électricité*, Chapitre III, Rapport de l'Assemblée Nationale, n°1359.

Baumol, W.J., Panzar, J.C. et Willig, R.D. (1982), *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, éd. Harcourt Grace Jovanovitch, New York.

Bayes, T.R. (1763), "An essay towards solving a problem in the doctrine of chances", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 53, pp.370-418.

Benett, B., Repacholi, M. et Carr, M. (2006), *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes*, Rapport des Nations Unies, Chernobyl Forum Expert Group "Health", World Health Organization, Genève.

Berliner, B. (1982), *Limits of Insurability of Risks*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Bernoulli, D. (1738), "Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk", *Econometrica*, vol. 22 (1954), pp.23-36, (Traduction de Bernoulli, D. (1738) "Specimen theoriae novae de mensura sortis", Académie de Saint-Pétersburg, vol. 5, pp.175–192).

Betbèze, J-P. et Bentoglio, G. (2005), *L'Etat et l'assurance des risques nouveaux*, Commissariat général du plan, La Documentation Française.

Bonduelle, A. et Lefevre, M. (2003), *Eole ou Pluton 2003*, Rapport Greenpeace, décembre 2003.

Bongaerts, J.C.et Debièvre, A.F.M. (1987), "Insurance for Civil Liability for Marine Oil Pollution Damages", *Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 12, pp.145-157.

Borch, K. (1962), "Equilibrium in a Reinsurance market", *Econometrica*, vol. 30(3), pp.424-444.

Borch, K. (1990), *Economics of insurance*, éds K.K. Aase et Sandmo, Amsterdam.

Bouckaert, B. (1991), "La responsabilité civile comme base institutionnelle d'une protection spontanée de l'environnement", *Journal des Economistes et des Etudes Humaines*, vol. 2(2&3), pp. 315-335.

Boyd, J. et Ingberman, D. (1994), "Non compensatory damages and potential insolvency", *Journal of Legal Studies*, vol. 23, pp.895-910.

Boyer, M. et Porrini, D. (2002), "The choice of instruments for environmental policy: liability or regulation?", dans *An introduction to the law and economics of environmental policy : issues in institutional design*, vol. 20, pp. 245-267.

Brisbois, J., Lanore, J-M., Villemeur, A., Berger, J-P. et De Guio, J-M. (1990), "Les études probabilistes de sûreté des centrales françaises de 900 et 1300 MW", *Revue Générale Nucléaire*, vol. 6, novembre-décembre, pp.522-535.

Brissette, S. (2005), "Reputation management", *Nuclear Plant Journal*, Mai/Juin, Vol. 23(3), pp.24-30.

Brown J.P. (1973), "Toward an Economic theory of Liability", *Journal of Legal Studies*, vol. 2(2), pp. 323-349.

Bupp, I.C. et Derian, J-C. (1981), *Light water: How the nuclear dream dissolved*, Basic Books, New York.

Burrows P. (1999), "Combining Regulation and Liability for the Control of External Costs", *International Review of Law and Economics*, vol. 19(2), pp.227-242.

Busekist, O. (1989), "Le Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris : une passerelle entre les deux conventions sur la responsabilité civile pour les dommages nucléaires", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°43, pp. 10-45.

Calabresi G. (1961), "Some Thoughts on Risk Distribution and the Law of Torts", *The Yale Law Journal*, vol. 70, pp. 499-533.

Calabresi G. (1970), *The Cost of Accidents: A Legal and Economic Analysis*, Yale University Press, New Haven.

Calabresi G. (1975), "Optimal Deterrence and Accidents", *The Yale Law Journal*, vol. 84(4), pp. 656-671.

Canioni, J-C. (2002), *Les PME face aux difficultés d'assurance – Pour une meilleure gestion des risques*, Rapport de la Chambre du Commerce et de l'industrie de Paris, présenté par M. Jean-Claude Canioni au nom de la Commission économique et financière et après avis de la Commission fiscale et adopté par l'Assemblée Générale du 17 octobre 2002.

Cardis, E., Krewski, D., Boniol, M., Drozdovitch, V., Darby, S., Gilbert, E., Akiba, S., Bénichou, J., Ferlay, J., Gandini, S., Hill, C., Howe, G., Kesminiene, A., Moser, M., Sanchez, M., Storm, H., Voisin, L. et Boyle, P. (2006), "Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident", *International Journal of Cancer*, 20/04/2006.

Carrez G. (2003), *Rapport fait au nom de la Commission des Finances, de l'Economie Générale et du Plan sur le projet de loi de finances rectificative pour 2003 (n°1234)* , Rapport de l'Assemblée Nationale, n°1266, tome II.

Chadwick, E. (1859), "Results of Different Principles of Legislation and Administration in Europe; of Competition for the Field, as compared with Competition within the Field, of Service", *Journal of the Royal Statistical Society*, pp. 381-420.

Charpentier, A. (2002), "Titrisation des risques catastrophes : les *Cat Bonds*", CREST (Centre de Recherche en Economie et Statistique)/FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurance), Note, septembre, pp.1-22.

Charpin, J.M., Dessus, B. et Pellat, R. (2000), *Étude économique prospective de la filière électrique nucléaire*, Rapport au premier ministre.

Chaufton, A. (1884), *Les assurances : leur passé, leur présent, leur avenir au point de vue rationnel, technique et pratique, moral, économique et social, financier et administratif, légal, législatif et contractuel*, éd. Librairie A. Chevalier-Marescq, Paris.

Chemarin, S., Henry, C. et Michel-Kerjan, E. (2004), *Incertitude, précaution et assurabilité*, Rapport au Commissariat Général du Plan, Laboratoire d'économétrie, Ecole polytechnique, novembre, Paris.

Coase, R. (1960), "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics*, vol.3, pp.1-44.

Cohen, E. (2006), *Analyse Financière*, 6ème édition, Economica.

Comité de la Réglementation Comptable (CRC) (2005), *Règlement n°2005-09 du 3 novembre 2005, portant diverses modifications au règlement n°99-03 du 29 avril 1999 du CRC relatif au plan comptable général et à l'article 15-1 du règlement n°2002-10 relatif à l'amortissement et la dépréciation des actifs*, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'industrie.

Comité de la Réglementation Comptable (CRC) (2000), *Plan Comptable Général : Règlement n°2000-06 du 7 décembre 2000, relatif aux passifs, (Cf. avis n°2000-01 du 20 avril 2000 du* CNC), Ministère de l'Economie, des Finances et de l'industrie.

Condorcet, N. (1786), *Traité de calcul intégral* (inachevé).

Conseil de l'Union Européenne (2004), "Décision du Conseil du 8 mars 2004 autorisant les États membres qui sont parties contractantes à la convention de Paris du 29 juillet 1960 sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire à ratifier, dans l'intérêt de la Communauté européenne, le protocole portant modification de ladite convention, ou à y adhérer", *JO* 1er avril 2004 L 97/53.

Cooter, R. et Ulen, T. (2004), *Law and Economics*, 4e éd., Boston, Addison Wesley.

Courbage, C. et Liedtke, P.M. (2003), "On insurability, its limits and extensions", *Journal of Insurance Research and Practice*, vol. 18(2), juillet, pp.44-49.

Cousy, H. (2002), "La segmentation dans l'assurance de la responsabilité civile", *L'analyse économique du droit dans les pays de droit civil*, éd. Bruno Deffains, Cujas, Paris, pp.181-190.

Coeurderoy R. et Quelin B. (1997), "L'économie des coûts de transaction, un bilan des études empiriques sur l'intégration verticale", *Revue d'économie politique*, mars-avril, pp.145-181.

Cowan, R. (1990), "Nuclear Power Reactors: A study in Technological Lock-in", *Journal of Economic History*, vol. 50, pp. 541-567.

Cox, S., Fairchild, J.R. et Pedersen, H.W., (2000), "Economic Aspects of Securitization of Risk", *ASTIN Bulletin*, vol. 30(1), pp.157-193.

Cummins, J.D., Doherty, N. et Lo, A. (2002), "Can insurers pay for the *Big One*? Measuring the capacity of the insurance market to respond to catastrophic losses", *Journal of banking and finance*, vol. 26(2), mars, pp.557-583.

Cutler, D. et Zeckhauser, R. (1999), "Reinsurance for catastrophes and cataclysms", dans *The Financing of Catastrophe Risk*, éd. K. Froot, The University Chicago Press, pp.233-269.

D'Arcy, S. et France, V. (1992), "Catastrophe Futures: A Better Hedge for Insurers" *Journal of Risk and Insurance*, vol. 59(4), décembre, pp. 575-600.

Debaets, M. (1991), "Insurance of Nuclear Power Stations", Nuclear Inter Jura 1991, AIDN/INLA, September 1991.

Deffains, B. (2000), "L'évaluation des règles de droit : un bilan de l'analyse économique de la responsabilité", *Revue d'Economie Politique*, vol. 110(6), novembre-décembre, pp.751-785.

De Loustal, B. (2003), "Présentation d'Assuratome", Journée Benfield, 14 mai, Paris.

Delpoux, C. (1998), "Les assurance de responsabilité", *Encyclopédie de l'assurance*, éd. Ewald et Lorenzi, chapitre 32, pp.751-770, Economica, Paris.

Denenberg, H. (1973), "Testimony before the atomic safety and licensing board, licensing hearing for Three Mile Island nuclear power plant", 7 novembre, republié par US congress Joint Committee Atomic Energy, dans *Possible Modification or extension of the Price-Anderson insurance and indemnity Act*, 1974, pp.226-240.

Dewees, D., Duff, D. et Trebilcock, M. (1996), *Exploring the Domain of Accident Law; taking the Facts Seriously*, New York, Oxford, Oxford University Press.

DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières) (2003), *Les coûts de référence de la production électrique*, Rapport pour le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.

DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières) et OEEMP (Observatoire de l'Économie de l'Énergie et des Matières Premières) (2007), *Prix du gaz et de l'électricité en Europe au 1er janvier 2007*, Rapport du Ministère de l'Econome et des Finances, août.

Diamond, P. (1974), "Single Activity Accidents", *Journal of Legal Studies*, vol. 3(1), janvier, pp. 107-164.

Dimson, E., Marsh, P. et Staunton, M. (2001), *Triumph of the optimists: 101 years of global investment returns*, Princeton University Press, Oxford.

Dionne, G., Doherty, N. et Fombaron, N. (2001), "Adverse selection in insurance markets", *Handbook of insurance*, éd. G. Dionne, Kluwer Academic Publishers, Boston, chapitre 7, pp. 186-244.

Dow, J. (1985), "The Organization and Development of International Liability Capacity and National Market *Pools*, with special reference to new nuclear countries", dans *La responsabilité nucléaire et l'assurance*, éd. OCDE, Paris, pp.172-182.

Dowding, T. (1997), *Global Developments in Captive Insurance*, FT Finance, Pearson Professional, Londres.

Dreicer, M., Tort, V. et Margerie, H. (1995), *The external cost of the nuclear fuel cycle: implementation in France*, Rapport CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-238, août.

Dubin, J.A. et Rothwell, G.S. (1989), "Risk and reactor safety systems adoption", *Journal of Econometrics*, vol. 42(2), Octobre, pp.201-218.

Dubin, J.A. et Rothwell, G.S. (1990), "Implicit subsidy to nuclear power through Price-Anderson liability limit", *Contemporary Economic Policy*, vol. 8(3), pp.73-79.

Dublin, L.I. et Lotka, A.J. (1930), *The Money Value of a Man*, Ronald Press Company, New York.

Duché, P. (1998), "Origine et développement des captives", *Encyclopédie de l'assurance,* éd. Ewald et Lorenzi, chapitre 79, pp.1647-1661, Economica, Paris.

Dussart-Desart, R. (2005), "La réforme de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, et de la Convention complémentaire de Bruxelles. Un survol des principaux éléments de la modernisation des deux Conventions", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°75, pp.7-34.

EDF (Electricité de France) (2006a), *Document de Référence*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2006b), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2005), *Rapport annuel - Etats Financiers*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2004a), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2004b), *Rapport de la Cour des Comptes*, chapitre 7, *Les spécificités d'EDF et leur traduction comptable*, pp.253-287.

EDF (Electricité de France) (2004c), *Document de Référence*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2003), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2002), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2001), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

EDF (Electricité de France) (2000), *Rapport annuel*, groupe EDF, Paris.

Eeckhoudt, L., Schieber, C. et Schneider, T. (2000), "Risk Aversion and the External Cost of a Nuclear Accident", *Journal of Environmental Management*, vol. 58, pp.109-117.

Ehrhardt, J., Päsler-Sauer, J., Schüle, O., Benz, G., Rafat, M. et Richter, J. (1993), "Development of RODOS, a Comprehensive Decision Support System for Nuclear Emergencies in Europe - An Overview", *Radiation Protection Dosimetry*, Oxford University Press, vol. 50, pp.195-203.

Eisen, R., Müller, W. et Zweifel, P. (1993), "Entrepreneurial insurance. A new paradigm for deregulated markets", *Geneva Papers on Risk and Insurance*, *Issues and Practice*, vol. 66, pp. 7-56.

ELINI (*European Liability Insurance for the Nuclear Industry*) (2005), *Rapport annuel*, Bruxelles, Belgique.

Ellsberg, D. (1961), "Risk, ambiguity, and the Savage axioms", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 75, pp. 643-699.

EMANI (*European Mutual Association for Nuclear Insurance*) (2006), *Rapport annuel*, Bruxelles.

Energy Information Administration (EIA), (1992) *Federal Energy Subsidies: Direct and Indirect Interventions in Energy Markets* (SR/EMEU/92-02), Washington, DC: U.S. Department of Energy.

Epstein, R. (1996), "Catastrophic Responses to Catastrophic Risks", *The Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 12(1), pp. 287-308.

Erlich, I. (2000), "Uncertain lifetime, life protection and the value of life saving", *Journal of Health Economics*, vol. 19, pp. 341-367.

Ewald, F. et Lorenzi, J-H. (1998), *Encyclopédie de l'assurance*, Economica, Paris.

Facchini, F. (2002), "Principe de causalité et économie de la responsabilité civile", *L'analyse économique du droit dans les pays de droit civil*, éd. Bruno Deffains., Cujas, Paris, pp.151-167.

Fairlie, I. et Sumner, D. (2006), *The Other Report on Chernobyl* (TORCH), avril, Berlin, Bruxelles, Kiev, Rapport indépendant commissionné par Rebecca Harms, Parlement Européen.

Faure, M.G. et Vanden Borre, T. (2007), "The US versus the International Nuclear Liability and Insurance System: An economic Analysis", *Proceedings*, Conférence Nuclear Inter Jura 2007, INLA/AIDN, Bruxelles.

Faure, M.G. (2007a), "Financial Compensation for Victims of Catastrophes: a law and economics perspective", *Law and Policy*, vol. 29 (3), juillet, pp. 339-366.

Faure, M.G. (2007b), *L'analyse économique du droit de l'environnement* (à paraître).

Faure, M.G. (2004), "Alternative compensation mechanisms as remedies for uninsurability of liability", *Geneva Papers on Risk and Insurance Theory,* vol. 29(3), juillet, pp.455-489.

Faure, M.G. et Grimeaud, D. (2003), "Financial insurance issues of environmental liability", dans *Deterrence, insurability, and compensation in environmental liability. Future developments in the European Union*, éd. M.G. Faure, Vienne, printemps, pp.7-255.

Faure, M. et Hartlief, T. (2003), *Insurance and expanding systemic risks*, OCDE, Paris.

Faure, M.G. et Skogh, G. (2003), *Economic Analysis of environmental Law: An Introduction*, Edward Elgar Pub.

Faure, M.G. (2002), "L'analyse économique du droit civil français : le cas de la responsabilité", *L'analyse économique du droit dans les pays de droit civil*, éd. Bruno Deffains, Cujas, Paris, pp.113-149.

Faure, M.G. et Fenn, P. (1999), "Retroactive liability and the insurability of long-tail risks", *International Review of Law and Economics*, vol. 19, pp.487-500.

Faure, M.G. (1999), "Financial caps as remedy in case of major industrial accidents?", *Liability, economics and insurance*, éds. Andersen, P. et Nissen, T., Odense, Son Publication, vol. 32, pp.1-31.

Faure, M.G. et Hartlief, T. (1998),"Remedies for Expanding Liability", *Oxford Journal of Legal Studies*, vol. 8, pp.681-706.

Faure, M.G. (1995), "Economic models of compensation for damage caused by nuclear accidents: some lessons learned from the revision of the Paris and Vienna Conventions", *European Journal of Law and Economics*, vol. 2(1), janvier, pp. 21-43.

Faure, M.G. et Vanden Bergh, R. (1995), "Restrictions of competition on insurance markets and the applicability of EC antitrust law", *Kyklos*, vol. 48 (1), pp.65-85.

Faure, M.G. et Skogh, G. (1992), "Compensation for Damages Caused by Nuclear Accidents: A Convention as Insurance", *Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 17(65), pp.499-513.

Faure, M.G. et Heine G., (1991), "The Insurance of Fines: The Case of Oil Pollution", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 58, pp. 39-58.

Faure, M.G. et Vanden Bergh, R. (1990), "Liability for Nuclear Accidents in Belgium from an Interest Group Perspective", *International Review of Law and Economics*, vol. 10, pp.241-254.

Finsinger, J. et Schmidt, F.A. (1994), "Prices, distribution channels and regulatory intervention in European insurance markets", *Geneva Papers on Risk and Insurance - Issue and Practice*, vol. 70(19), pp.22-36.

Finsinger, J. (1991), "The choice of risky technologies and liability", *International Review of Law and Economics*, vol. 11(1), pp.11-22.

Finsinger, J., Hammond, E. et Tapp, J. (1985), *Insurance: Competition or regulation? A comparative study of the insurance markets in the United Kingdom and the Federal Republic of Germany*, London : Institute for Fiscal Studies.

Fiore, K. (2007), "Irreversibilities and Technological Change: Modularity as a New Challenge for Nuclear Investments", *International Journal of Technology and* globalization, vol. 3(1), pp. 88-102.

Fiore, K. (2006), "Irréversibilité Mixte, valeur d'option et modularité : une application à l'investissement électronucléaire", *Economies et Sociétés*, série *Economie de l'Energie* (ISMEA), n°10-11, Oct-Nov, tome XL, pp.1595-1618.

FIPOL (Fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures) (2007), *Note explicative établie par le Secrétariat des Fonds internationaux d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures*.

FIPOL (Fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures) (2004), *Rapport annuel sur les activités du FIPOL au cours de 2004*.

FIVA (Fonds d'indemnisation des victimes de l'amiante) (2006), *5ème Rapport d'activité au Parlement et au Gouvernement*, Paris, France.

Froot, K.A. (2001), "The market of catastrophic risk: a clinical examination", *Journal of Financial Economics*, vol. 60, pp.529-571.

Froot, K.A. (1997), "The limited financing of catastrophe risk: an overview", *National Bureau of Economic Research* (NBER), Harvard Business School, working paper n°W 6025.

Furse, M. (2006), *Competition law of the EC and UK*, Oxford, New York : Oxford University Press.

Gadonneix, P. (2007), *Actionnaires*, *La lettre 4*, EDF, Juin 2007.

Galesne, A. (1999), *Le financement de l'entreprise*, éd. Céréfia, Rennes.

GAO (*United States General Accounting Office*) (2004), *Nuclear Regulation - NRC's Liability Insurance Requirements for Nuclear Power Plants Owned by Limited Liability Companies*, Report to Congressional Requesters 04-654, Mai.

Geisler, G. et Waddell, D. (2002), "Extremus", dans *Points de Vue - Études et commentaires sur l'Assurance du terrorisme. Les solutions de marché en Europe*, PartnerRe, décembre.

General Accounting Office (GAO) (1975), *Selected Aspects of Nuclear Powerplant Reliability and Economics* (RED-76-7), Washington, DC: U.S. General Accounting Office.

Gilboa, I. (1987), "Expected utility with purely subjective non-additive probabilities", *Journal of mathematical Economics*, vol. 16, pp.65-88.

Glais, M. (1993), *Economie industrielle et droit de la concurrence*, Litec, Paris.

Glais, M. (1983), *Traité d'économie et de droit de la concurrence*, PUF, Paris.

Godard, O., Henry, C., Lagadec, P. et Michel-Kerjan, E. (2002), *Traité des nouveaux risques*, éd. Gallimard.

Godard, O. et Lochard, J. (2005), "L'histoire de la radioprotection, un antécédent du principe de précaution", *Cahier de la Chaire Développement Durable*, Ecole Polytechnique, n°2005-011, Mai, pp. 1-15.

Goldfard, B. et Pardoux, C. (1998), *Introduction à la méthode statistique*, éd. Dunod.

Gollier, C., Proult, D., Thais, F. et Walgenwitz, G. (2004), "Comment valoriser la modularité dans les projets d'investissement électronucléaire ?", *Revue de l'Energie*, n°555, pp.165-170.

Gollier, C. (1996), "Vers une théorie économique des limites de l'assurabilité", *Revue d'Economie Financière*", vol. 37, pp. 59-79.

Harrington, S.E. (2000), "Rethinking Disaster Policy", *Regulation*, vol. 23(1), pp.40-46.

Havel, V. (1992), *Méditations d'Eté*, éd. L'Aube, La Tour d'Aigues.

Havens, C.W. et Theisen, R.M. (1986), "The Application of United States and ECC Antitrust Laws to Reinsurance and Insurance *Pool*ing Arrangements", *The Antitrust Bulletin*, pp.1300-1301.

Henriet, D. et Rochet, J-C. (1991), *Microéconomie de l'assurance*, éd. Economica.

Henry, C. (1974), "Investment decisions under uncertainty: the "irreversibility" effect", *The American Economic Review*, vol. 64(6), pp.1006-1012.

Heyes, A. (2005), "PRA in the nuclear sector. Quantifying human error and human malice", *Energy policy*, vol. 23(1212), pp. 1027-1034.

Heyes, A. (2002), "Determining the Price of Price-Anderson", *Regulation*, winter, pp. 26-30.

Heyes, A. et Liston-Heyes, C. (2000a), "Capping environmental liability: the case of North American nuclear power", *Geneva papers on risk and insurance*, vol. 25(2), pp.196-202.

Heyes, A. et Liston-Heyes, C. (2000b), "An empirical analysis of the Nuclear Liability Act (1970) in Canada," *Resource and Energy Economics*, vol. 22(1), pp. 91-101.

Heyes, A. et Liston-Heyes, C. (1998), "Implicit subsidy to Nuclear Power through Price-Anderson Liability Limit: Comment," *Contemporary Economic Policy,* Oxford University Press, vol. 16(1), pp. 122-24.

Hogarth, R.M. et Kunreuther, H. (1985), "Ambiguity and insurance decisions", *The American Economic Review*, AEA Papers and Proceedings, vol. 75(2), pp.386-390.

Holm, H.J. (1999), "Aspects of information in risk-sharing", *working paper*, Université de Lund, Suède.

Holsboer, J.H. (1995), "Insurability and Uninsurability: an Introduction", *Geneva papers on Risk and Insurance* (*Issues and Practice*), vol. 20(76), pp. 407-413.

IAEA (*International Atomic Energy Agency*) (2006), *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience,* Rapport du Groupe d'experts du *Chernobyl Forum "Environment"*, Vienne.

IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)/EDF (Electricité de France) (1990), "Etudes probabilistes de sûreté en France. Quelle probabilité de fusion du cœur des REP ?", Journées SFEN, 16 mai 1990.

Jankowitsch-Prevor, O. (1994), "La Convention sur la sûreté nucléaire", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n° 54, pp. 9-23.

Johnson, N.L. Kotz, S. et Balakrishnan, N. (1994), *Continuous Univariate Distributions*, I, John Wiley & sons, New York.

Jones, B. (1997), "Deterring, Compensating and Remedying Environmental Damage: the Contribution of Tort Liability", *Harm to the Environment: The right to compensation and the assessment of damages,* éd. P. Wetterstein, pp. 11-27.

Jost, P.J. (1996), "Limited liability and the requirement to purchase insurance", *International Review of Law and Economics,* vol. 16(2), pp. 259-276.

Journal Officiel (JO), (2005), "Vocabulaire de l'ingénierie nucléaire", JO 220 du 21 Septembre 2005, NOR : CTNX0508681K.

Kalalo, E. et Brenot, D. (2003), "Rôle et limites des EPS", *Contrôle - La Revue de l'Autorité de Sûreté Nucléaire*, vol. 155, novembre, pp. 3-6.

Keynes, J.M. (1937), "La théorie générale de l'emploi", *Quarterly Journal of Economies*, vol. 51, pp. 209-223 (traduit par Nicolas Jabko dans la *Revue française d'économie*, vol. 4, 1990).

Keynes, J.M. (1936), *Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie*, Payot, Paris (traduction 1955).

Keynes, J.M. (1921), *A Treatise on probability*, Macmillan, Londres.

Kirzner, I. (1997), "Entrepreneurial Discovery and the Competitive Market Process: An Austrian approach", *Journal of Economic Literature*, vol. 35(3), pp. 60–85.

Knight, F. H. (1921), *Risk, Uncertainty and Profit*, éd. Houghton Mifflin, Boston.

Kolstad, Ch.D., Ulen, Th.S. and Johnson, G.V. (1990), "*Ex Post* Liability for Harm vs. *Ex Ante* Safety Regulation: Substitute or Compliments?", *The American Economic Review*, vol. 80 (4), pp. 888-901.

Kornhauser, L.A. (1982), "An economic analysis of the choice between enterprise and personal liability for accidents", *California Law Review*, vol. 70(6), pp.1345-1392.

Kornhauser, L. A. et Revesz, R. (1989), "Sharing Damages among multiple Tortfeasors", *Yale Law Journal*, vol. 98(5), pp. 831-884.

Kretzler, C. et Wagner, F. (2000), "The Catastrophe Risk Exchange (Catex) in New York: An Exchange and Electronic Processing System for Reinsurance Business", *Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 25(1), pp.136-153.

Krueger, A.O. (1974), "The political economy of the rent-seeking society", *The American Economic Review*, vol. 64, pp.291-303.

Kunreuther, H et Michel-Kerjan, E. (2006), "Looking Beyond TRIA: A Clinical Examination of Terrorism Loss Sharing", National Bureau of Economic Research (NBER), Cambridge, MA , Mai.

Kunreuther, H et Michel-Kerjan, E. (2005), "Insurability of (mega)-Terrorism: Challenges and Perspectives", *OECD: Terrorism Insurance in OECD Countries*, chapitre 6, juillet, Paris.

Kunreuther, H. et Freeman, P. (2001), "Insurability, environmental risks and the law", *The Law and Economics of the Environment,* A. Heyes, (réd.), Cheltenham, Edward Elgar, pp.302-318.

Kunreuther, H. (1997), "Rethinking society's management of catastrophic risks", *Geneva papers on Risk and Insurance*, vol. 83, pp. 151-177.

Kunreuther, H. (1996), "Mitigation disaster losses through insurance", *Journal of risk and Uncertainty*, vol. 12, pp.171-187.

Kunreuther, H., Hogarth, R. et Meszaros, J. (1993), "Insurer ambiguity and market failure", *Journal of risk and insurance*, vol. 6, pp. 71-87.

Kunreuther, H. (1992), "A conceptual framework for managing low-probability events", *Social Theories of Risk*, S. Krimsky and D. Golding (eds.), Westport, CT: Praeger, pp.301-320.

Kunreuther, H. (1978), *Disaster insurance protection: public policies lessons*, New York Willey Interscience.

Lagadec, P. (2006), "Risques, crises et ruptures aux frontières du chaotique", *Contrôle - La Revue de l'Autorité de Sûreté Nucléaire*, vol. 168, février, pp. 132-137.

Lambert, A. (1998-1999), *La situation et les perspectives du secteur des assurances en France*, Rapport d'Information n°45, Tome 1, 1 ère Partie, Commission des Finances.

Lamm, V. (1998), "Le Protocole d'amendement de la Convention de Vienne de 1963", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°61, pp.7-26.

Landes, W. et Posner, R. (1981), "A Positive Economic of Tort Law", *Georgia Law Review*, vol. 18, pp. 851-924.

Lane, M. (2002), *Alternative risk strategies*, Londres: Risk books, Haymarket House.

Lanore, J-M. (2003), "Perspectives sur le développement des EPS de niveau 1, 2 et 3", *Contrôle - La Revue de l'Autorité de Sûreté Nucléaire*, vol. 155, novembre, pp. 17-21.
Laplace, (1814), *Essai philosophie sur les probabilités.*

Laster, D. et Schmidt, C. (2006), "Innover pour assurer l'inassurable", *Problèmes Economiques*, La Documentation Française, n°2895, 15 mars.

Latruffe, L. et Picard, P. (2005), "Assurance des catastrophes naturelles : faut-il choisir entre prévention et solidarité ?", *Annales d'Economie et de Statistiques*, vol. 78, pp. 33-56.

Laurent, C. (2005), "La Réputation : un actif non spéculatif des entreprises du CAC 40", *La Revue Parlementaire*, n°879, Mai, Presse Parlementaire, Paris.

Lautier, D. (2003), "Les performances des entreprises électriques européennes", *Economies et Sociétés*, série Economie de l'Energie n°9, jan-fév, pp. 257 -287.

Lebègue, D., Hirtzman, P. et Baumstark, L. (2005), *Le prix du temps et la décision publique*, Commissariat général du Plan, La documentation française.

Le Bot, P. (2003), "Le facteur humain dans les études probabilistes", *Contrôle - La Revue de l'Autorité de Sûreté Nucléaire*, vol. 155, novembre, pp. 32-35.

Lebrun, B. (2004), "L'actualisation des provisions pour risques", *La revue fiduciaire comptable*, vol.307, pp.23-28.

Le Dars et Schneider, T. (2002), *L'évaluation des coûts externes à long terme de la filière nucléaire : intérêts et limites*, Rapport CEPN-R-274, Septembre.

Levie, G. et Cousy, H. (1994), *La politique européenne de concurrence en matière d'assurances*, Bruxelles, Ed. Bruylant.

Libaert, T. (2007), "Total, un groupe à l'image ternie par les affaires", AFP, 12 février.

Lintner, J. (1965), "The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets", *Review of Economics and Statistics*, vol.47, pp. 13-37.

List, F. (1841), *Système national d'économie politique*, Elibron Classics.

Mackaay, Ejan et Rousseau, S. (2007), *L'analyse économique du droit*, 2ème édition, Dalloz.

Maréchal, J-P. (1991), *Le prix du risque. L'économie au défi de l'environnement*, Presses du CNRS, Paris.

Martin, F. (2003), "La vie humaine a-t-elle une valeur économique?", Mimeo, Université de Montréal, Québec.

McRae, B. (1998), "La Convention sur la réparation : sur la voie d'un régime mondial permettant de faire face à la responsabilité et à l'indemnisation des dommages nucléaires", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°61, pp.27-41.

Mahul, O. et Wright, B.D. (2003), "Efficient risk sharing within a catastrophe insurance *pool*", National Bureau of Economic Research (NBER) insurance project workshop, Cambridge, Etats-Unis, 31.01.2003.

Mandil, C. (1996), *L'Energie nucléaire en 110 questions*, éd. Le Cherche-Midi.

Michel-Kerjan, E. et Marcellis-Warin, N. (2006), "Public-Private Programs for Covering Extreme Events: The Impacts of Information Distribution and Risk Sharing", *Asia -Pacific Journal of Risk and Insurance*, vol. 1(2), mars, pp. 21-49.

Marcellis-Warin, N. et Michel-Kerjan, E. (2001), "The Public-Private Sector Risk-Sharing in the French Insurance *Cat. Nat. System*", dans CIRANO, Série Scientifique, novembre.

Markandya, A., Dale, N. et Schneier, T. (1998), *Improvement of the Assessment of the External Cost of Severe Nuclear Accidents*, Rapport CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-260, Decembre.

Markowitz, H. M. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, vol. 7(1), pp.77-91.

Markowitz, H. M. (1959), *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*, éd. Wiley, New York.

Marshall, J.M. (1974), "Insurance theory: reserves versus mutuality", *Economic Inquiry*, vol. 12(4), pp. 476-492, décembre.

Marshall, A. (1920), *Principles of Economics*, Macmillan, London.

Ménard, C. (2004), *Economie des organisations*, La Découverte, Paris.

Michel-Kerjan, E. (2006), "Vulnérabilité financière face aux risques à grande échelle : la parole est à la première industrie au monde", *Annales des Mines*, Série *Responsabilité et Environnement*, vol.43, juillet, pp.14-25.

Michel-Kerjan, E. et Pedell, B. (2006), "How Does the Corporate World Cope with Mega-Terrorism Threat? Evidence from Terrorism Insurance Markets", *Journal of Applied Corporate Finance*, Décembre.

Michel-Kerjan, E. et Pedell, B. (2005), "Terrorism Risk Coverage in the Post-9/11 Era: A Comparison of New Public-Private Partnerships in France, Germany and the US", *Geneva Papers and Risk and Insurance*, vol. 30(1), Février, pp.144-170.

Minsky, H.P. (1996), "Uncertainty and the Structure of Capitalist Economies", Levy Economics Institute, Annandale - N.Y, *working Paper,* n°155.

Moureau, N. et Rivaud-Danset, D. (2004), *L'incertitude dans les théories économiques*, Repères, La Découverte.

Natowicz-Laurent, I. (2000), "Responsabilité civile et assurance en matière environnementale", *L'analyse économique du droit dans les pays de droit civil*, Bruno Deffains éd., Cujas, Paris, pp.169-179.

Natowicz, I. (1999), "L'assurance, instrument économique de la politique de l'environnement", *Revue d'Economie Politique*, vol. 109(1), janvier-février, pp.83-103.

NEIL (*Nuclear Electric Insurance Limited*) (2005), *Rapport annuel*, Wilmington.

Nell, M. et Richter, A. (2004), "Improving Risk Allocation through Indexed Cat Bonds", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, *Issues and Pratice*, vol. 29(2), pp. 183-201.

Niehaus, G. et Mann, S. (1992), "The trading of underwriting risk: an analysis of insurance futures contracts and reinsurance", *Journal of Risk and Insurance*, vol. 59(4), pp. 601-627.

Niskanen, W.A. (1971), *Bureaucracy and representative government*, éd. Aldine-Atherton, Chicago, New York.

Nuclear Regulatory Commission (NRC) (1990), *Severe Accident Risks: An Assessment for Five US Nuclear Power Reactors, final summary report*, NUREG-1150, Vol. 1, Washington, DC, Etats-Unis.

O'Brien, T. (1997), "Hedging strategies using insurance options", *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 21(2), pp.153-162.

Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), (1978) *An Analysis of Federal Incentives Used to Stimulate Energy Production*, Washington, DC: U.S. Department of Energy.

Parmentier, P. et Thomas, J. (2006), "Le coût du crédit aux entreprises", *Bulletin de la Banque de France*, n°154, octobre.

Pauly, M.V. (1968), "The Economics of Moral Hazard: Comment", *The American Economic Review*, vol.58(3), juin, pp. 531-537.

Percebois, J. (1997), *Energie et théorie économique*, Cujas.

Pigou A.C. (1920), *The economics of welfare*, Macmillan, London.

Pichereau, F. (2003), "La règle fondamentale de sûreté sur les EPS", *Contrôle - La Revue de l'Autorité de Sûreté Nucléaire*, vol. 155, novembre, pp. 7-11.

Posner, R. (1973), *Economic analysis of law*, éd. Little Brown, Boston.

Pratt, J.W (1964), "Risk Aversion in the small and in the large" *Econometrica*, vol.32, Janvier, pp. 122-136.

Prevot, H., de Juvigny, B., Louvot, M., Izart, C. et Lehmann, F. (2004), "Les coûts complets du nucléaire et hypothèses de financement", Annexe 5 du *Rapport d'enquête sur les prix de l'électricité*, Conseil Général des Mines.

PriceWaterHouseCoopers (2003), "Les captives de réassurance au Luxembourg", Luxembourg.

Proult, D. et Desaigues, B. (1993), *L'évaluation de l'impact économique des situations post-accidentelles : présentation et analyse du modèle COSYMA*, Rapport CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-216, juin.

Quéniart, D. (1992), *Safety of Future Reactors in France*, Rapport IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), n°92/02.

Rabin, R.L. et Bratis, S.A. (2006), "United States", *Financial compensation for victims of catastrophes,* éds. Faure et Hartlief, Vienne, pp.344-410.

Radetzki, M. (1999), "Limitation de la responsabilité civile nucléaire : causes, conséquences, et perspectives," *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°63, pp.7-25.

Radetzki, M. et Radetzki, M. (1997), "The Liability of Nuclear and Other Industrial Corporations for Large- Scale Industrial Damages", *Journal of Energy & Natural Resources Law*, vol. 15(4), pp. 366-386.

Ramsey, F.P. (1926), "Truth and Probability", *Philosophical Papers*, éd. Mellor, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 52-94.

Rasmussen, N. (1975), *WASH-1400, The Reactor Safety Study*, USNRC.

Reitsma, S.M.S. (1992), *Nuclear Insurance Pools: History and Development*, rapport présenté au Symposium de l'OCDE sur les accidents nucléaires – Responsabilités et garanties, septembre, Helsinki, Finlande.

Richer, L. (2007), *Concurrence pour le marché et concurrence dans le marché*, [texte de] Edwin Chadwick, traduit par Rosalind Greenstein, ouvrage collectif, éd. LGDJ, Paris.

Ross, S. (1973), "The economic theory of agency: The principal's problem", *The American Economic Review*, vol. 63 (2), pp.134-139.

Rothwell, G.S. (2002), "Does the US subsidize nuclear power insurance?", *Policy Brief*, Stanford Institute for Economic Policy Research, pp.1-3.

Rust, J. et Rothwell, G. (1995), "Optimal response to a shift in regulatory regime: the case of the US nuclear power industry", *Journal of Applied Economy*, vol. 10, numéro special : *The microeconomics of dynamic decision-making*, pp.S75-S118.

Sauvy, A. (1978), *Coût et valeur de la vie humaine,* Hermann, Paris.

Savage, L.J. (1954), *The Foundations of Statistics*, éd. Wiley, New York.

Schwartz, J.A. (2006), "Le droit international de la responsabilité civile nucléaire : l'après Tchernobyl", *Le droit nucléaire international après Tchernobyl*, éd. AEN/AIEA/OCDE, pp. 41-80.

Schieber C. et Schneider T. (2002), *Valorisation monétaire des impacts sanitaires et environnementaux d'un accident nucléaire. Synthèse des études ExternE, intérêts et limites de développements complémentaires*, report CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-275, septembre.

Schieber, C. et Benhamou, C. (1999), *Contribution to the Economic Module of RODOS*, Rapport CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)-R-263, Novembre.

Schoemaker, P.J.H. et Kunreuther, H.C. (1979), "An experimental study of insurance decisions", *The Journal of Risk and Insurance*, vol. 46(4), pp. 603-618.

Schwarze, R. et Wagner, G. (2004), "In the aftermath of Dresden. New directions in German flood insurance", vol. 29(2), *Geneva Papers on Risk and Insurance*, avril, pp.154-168.

Shackle, G.L.S. (1972), *Epistemics and Economics - A Critique of Economic Doctrines*, Cambridge University Press, Londres.

Shackle, G.L.S. (1953), "The Logic of Surprise", *Economica*, vol. 20(78), mai, pp. 112-117.

Shackle, G.L.S. (1949), "Probability and Uncertainty", *Metroeconomica*, vol. 1(3), décembre, pp. 161-173.

Sharkey, W.W. (1982), *The theory of natural monopoly*, éd. Cambridge University Press, New York.

Sharpe, W. F. (1964), "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk", *Journal of Finance*, vol.19(3), pp.425-442.

Shavell S. (1980), "Damage Measures for Breach of Contract", *Bell Journal of Economics*, The RAND Corporation, vol. 11(2), Automne, pp. 466-490.

Shavell, S. (1984a), "Liability for Harm versus Regulation of Safety", *Journal of Legal Studies*, vol. 13(2), pp.357-374.

Shavell S. (1984b), "A Model of the Optimal Use of Liability and Safety Regulation", *RAND Journal of Economics*, The RAND Corporation, vol. 15(2), pp. 271-280, Summer.

Shavell S. (1986a), "Uncertainty over Causation and the Determination of Civil Liability", *Journal of Law and Economics*, University of Chicago Press, vol. 28(3), pp. 587-609.

Shavell, S. (1986b), "The Judgement Proof Problem", *International Review of Law and Economics*, pp.43-58.

Shavell, S. (1987a), *Economic Analysis of Accident Law*, Harvard University Press, Cambridge.

Shavell S. (1987b), "The Optimal Use of Nonmonetary Sanctions as a Deterrent," *The American Economic Review*, American Economic Association, vol. 77(4), pp. 584-92, September

Skogh, G. (2007), "A European Nuclear Accident *Pool*. A proposal based on the restated diversification theorem", *Proceedings*, Conférence Nuclear Inter Jura 2007, INLA/AIDN, Bruxelles.

Skogh, G. et Wu, H. (2005), "The Diversification Theorem Restated: Risk-pooling Without Assignment of Probabilities", *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 31(1), pp.35-51.

Skogh, G. (2000), "Mandatory Insurance: Transaction Costs Analysis of Insurance", dans B. Bouckaert et G. de Geest (réd.), *Encyclopaedia of Law and Economics*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 521-537.

Skogh, G. (1999), "Risk-sharing Institutions for Unpredictable Losses", *Journal of Theoretical and Institutional Economics*, vol. 55(3), pp.505-515.

Skogh, G. (1998), "Development risks, strict liability and the insurability of industrial hazards", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, *Issues and Pratice*, vol. 23(87), pp. 247-265.

Skogh, G. (1991), "Insurance and the institutional economics of financial intermediation", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 16(58), pp. 59-72.

Skogh, G. (1989), "The Transactions Cost Theory of Insurance: Contracting Impediments and Costs", *Journal of Risk and Insurance*, vol. 56(4), décembre, pp. 726-732.

Skogh, G. (1982), "Public Insurance and Accident Prevention", *International Review of Law and Economics*, vol 2(1), pp. 67-80.

Slovic, P., Fischhoff, B., Lichtenstein, S., Corrigan, B. et Combs, B. (1977), "Preferences for Insuring against Probable Small Losses: Insurance Implications", *Journal of Risk and Insurance*, vol. 44(2), pp.237-258.

Slovic, P. (2000), *The perception of risk*, éd. Earth Scan, Londres.

Spadaro J.V. and Rabl A. (1998), *External costs of energy: application of the ExternE methodology in France*, Ecole des Mines de Paris, Paris, France.

Spence, M. et Zeckhauser, R. (1971), "Insurance, information and individual action", *The American Economic Review*, vol. 61(2), pp. 380-387.

Stählberg, P. (1994), "Causalité et problème de la preuve en matière de dommages nucléaires", *Bulletin de Droit Nucléaire*, vol. 53, pp.22-30.

Stigler, G.J. (1961), "The Economics of Information", *The Journal of Political Economy*, Vol. 69(3), juin, pp. 213-225.

Rothschild, M. et Stiglitz, J. (1976), "Equilibrium in the competitive insurance markets : an essay on the economics of imperfect information", *Quaterly Journal of Economics*, vol. 90, pp. 629-649.

Summers, J. (1983), "The Case of the Disappearing Defendant", *University of Pennsylvania Law Review*, vol. 132, pp.145-85.

Süssmilch, J.P. (1741), *L'ordre divin dans les changements de l'espèce humaine, démontré par la naissance, la mort et la propagation de celle-ci*, texte intégral, traduit et annoté par Jean-Marc Rohrbasser, 1998, I.N.E.D., Paris.

Trebilcock, M. et Winter, R.A. (1997), "The Economics of Nuclear Accident Law", *International Review of Law and Economics*, vol. 17(2), pp. 215-243.

Treynor, J.L. (1961), "Toward a Theory of Market Value of Risky Assets" (publié en 1999, dans *Asset Pricing and Portfolio Performance: Models, Strategy and Performance Metrics*, éd. Robert A. Korajczyk, Londres : Risk Books, pp.15-22.

Treynor, J. L. (1962), "Market Value, Time, and Risk", Mimeo.

Tullock, G. (1980), "Efficient Rent Seeking", *Toward a Theory of the Rent-Seeking Society*, Buchanan *et alii*, editor.

Tullock, G. (1967), "The Welfare Costs of Tariffs, Monopolies and Theft", *Western Economic Journal*, vol. 5, pp. 224-232.

Tunc, A. (1989), *La responsabilité civile*, 2e éd., Paris, Economica.

Tyran, J-R. et Zweifel, P. (1993), "Environmental Risk Internalization through Capital Markets (ERICAM): The case of nuclear power", *International Review of Law and Economics*, vol. 13(4), pp.431-444.

Vanden Borre, T. (2007), "Shifts in Governance in Compensation for Nuclear Damage, 20 Years After Chernobyl", *Shifts in Compensation Between Private and Public Systems. Tort and Insurance Law*, Vol. 21, éds. Van Boom, W. et Faure, M.G., Vienne, Printemps.

Vanden Borre, T. (1999), "Channelling of Liability: a Few Juridical and Economic Views on an Inadequate Legal Construction", dans N.L.J.T. Horbach (éd.), *Contemporary Developments in Nuclear Energy Law. Harmonising Legislation in CEEC/NIS*, Kluwer Law International, pp. 13-39.

Vernimmen, P. (2005), *Finance d'entreprise*, 6ème édition, Dalloz.

Vilnet, F. (2004), "Réaction des marchés d'assurance et de réassurance et solutions de marché", *working paper*, Séminaire organisé par l'Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI) sur "Incertitude, responsabilité, assurance", en partenariat avec la chaire Développement durable Ecole polytechnique - EDF.

Von Neumann, J. et Morgesntern, O. (1944), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.

Wang, H. (2007), "Shifts in governance in the International Regime of Marine Oil Pollution Compensation", *Shifts in Compensation for Environmental Damage*, Vol. 21, Vienne, Printemps, éds. M. Faure et A. Verheij.

Watterson, M. (1988), *Regulation of the firm and natural monopoly*, éd. Blackwell, Oxford, New York.

Williamson, O.E (2005), "Transaction Cost Economics and Business Administration", *Scandinavian Journal of Management*, vol. 21(1), mars, pp.19-40.

Williamson, O.E (1985), *The economic institutions of capitalism: : firms, markets, relational contracting*, New York , Free Press ; London, Collier Macmillan.

Williamson, O.E (1971), "The vertical integration of production: market failure considerations", *The American Economic Review*, vol. 61(2), pp. 112-123.

Zajdenweber, D. (2006), *Economie et gestion de l'assurance*, Economica, Paris.

Zanetti, A. (2004), "Catastrophes naturelles et techniques en 2003", *Sigma*, vol. 1, Swiss Re, Zurich, pp.5-10.

Sites Internet :

AIEA : www.iaea.org
AEN : www.nea.fr
Légifrance : www.legifrance.gouv.fr
Union Européenne : http://europa.eu
Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables : http://aida.ineris.fr

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
AEN (Agence pour l'énergie Nucléaire)
AGF (Assurance Générale de France)
AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique)
ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs)
ANI (*American Nuclear Insurers*)
BERSSIN (Bureau d'Evaluation des Risques Sismiques pour la Sûreté des Installations Nucléaires)
BWR (Réacteurs à Eau Bouillante)
CAPM (*Capital Asset Pricing Model*)
CCR (Caisse Centrale de Réassurance)
CEE (Communauté Economique Européenne),
CEA (Commissariat à l'Energie Atomique)
CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)
CIINB (Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base)
CRC (Comité de la Réglementation Comptable)
CRE (Commission de Régulation Electrique)
CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France)
CSSIN (Conseil Supérieur de la Sûreté des Informations Nucléaires)
DGSNR (Direction générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection)
DGSNR (Direction générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection)
DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)
DSNR (Divisions de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection)
EDF (Electricité de France)
EIA (Energy Information Administration)
EPR (*European Pressurized Reactor*)
EPS (Etude Probabiliste de Sûreté)
ERICAM (*Environmental Risk Internalization through CApital Markets*)
FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurance)
FGAO (Fonds de Farantie des Assurances Obligatoires de dommages)
FGTI (Fond de Garantie aux victimes d'actes Terroristes et autres Infractions)
GAO (*Government Accountability Office*)
GAREAT (Gestion de l'Assurance et de la Réassurance contre les Attentats Terroristes)
GCR (Réacteurs Refroidis au Gaz)
GWe (Gigawatts électriques)
GWh (Gigawatts heure)
IASB (*International Accounting Standards Board*)
IEG (Industries Electriques et Gazières)
IFRS (*International Financial Reporting Standards*)
INB (Installation Nucléaire de Base)
INES (*International Nuclear Event Scale*)

IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)
kWh (kilowatts heure)
LWGR (Réacteurs Graphite à Eau légère)
MEDAF (Modèle d'Evaluation des Actifs Financiers)
MWe (Mégawatts électriques)
MWh (Mégawatts heure)
MSI (Mutuelles Sans Intermédiaire)
NEIL (*Nuclear Electric Insurance Limited)*
NRC (*Nuclear Regulatory Commission*)
OAT (Obligations Assimilables du Trésor)
OCDE (Organisation de coopération et de développement économique)
OEMA (Observatoire de l'Evolution des Métiers de l'Assurance)
ONU (Organisation des Nations Unis)
OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques)
PCB (Protocole de modification la Convention de Bruxelles)
PCP (Protocole de modification la Convention de Paris)
PIB (Produit Intérieur Brut)
PNB (Produit National Brut)
PPA (*Price-Anderson Act*)
PPP (Partenariat Public/Privé)
PRA (*Probability Risk Assessment*)
PHWR (Réacteurs à Eau lourde pressurisée)
RC (Responsabilité Civile)
RCN (Responsabilité Civile Nucléaire)
REP (Réacteur à Eau Pressurisée)
SFEN (Société Française pour l'Energie Nucléaire)
STOPIA (*Small Tanker Oil Pollution Indemnification Agreement*)
TOPIA (*Tanker Oil Pollution Indemnification Agreement*)
TRIA (*Terrorism Risk Insurance Act*)
TVA (Taxe sur la Valeur Ajoutée)
TWh (Térawatts heure)
UE (Union Européenne)
WENRA (*Western European Nuclear Regulators' Association*)

ANNEXES

Annexe 1

Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire (Convention de Paris)
29 juillet 1960 amendée le 28 janvier 1964 et le 16 novembre 1982

Les **GOUVERNEMENTS** de la République fédérale d'Allemagne, de la République d'Autriche, du Royaume de Belgique, du Royaume de Danemark, du Royaume d'Espagne, de la République de Finlande, de la République Française, de la République Hellénique, de la République Italienne, du Grand-Duché de Luxembourg, du Royaume de Norvège, du Royaume des Pays-Bas, de la République Portugaise, du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, du Royaume de Suède, de la Confédération Suisse et de la République Turque 1);

CONSIDERANT que l'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire, créée dans le cadre de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (appelée ci-après l'"Organisation") 2), est chargée de promouvoir l'élaboration et l'harmonisation des législations intéressant l'énergie nucléaire dans les pays participants, en ce qui concerne notamment le régime de la responsabilité civile et de l'assurance des risques atomiques ;

DESIREUX d'assurer une réparation adéquate et équitable aux personnes victimes de dommages causés par des accidents nucléaires, tout en prenant les mesures nécessaires pour éviter d'entraver le développement de la production et des utilisations de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ;

CONVAINCUS de la nécessité d'unifier les règles fondamentales applicables dans les différents pays à la responsabilité découlant de ces dommages, tout en laissant à ces pays la possibilité de prendre, sur le plan national, les mesures complémentaires qu'ils estimeraient nécessaires ;

SONT CONVENUS de ce qui suit :

Article 1
a) Au sens de la présente Convention :
i) "Un accident nucléaire" signifie tout fait ou succession de faits de même origine ayant causé des dommages, dès lors que ce fait ou ces faits ou certains des dommages causés proviennent ou résultent soit des propriétés radioactives, ou à la fois des propriétés radioactives et des propriétés toxiques, explosives ou autres propriétés dangereuses des combustibles nucléaires ou produits ou déchets radioactifs, soit de rayonnements ionisants émis par une autre source quelconque de rayonnements se trouvant dans une installation nucléaire.
ii) "Installation nucléaire" signifie les réacteurs à l'exception de ceux qui font partie d'un moyen de transport ; les usines de préparation ou de fabrication de substances nucléaires ; les usines de séparation des isotopes de combustibles nucléaires ; les usines de traitement de combustibles nucléaires irradiés ; les installations de stockage de substances nucléaires à l'exclusion du stockage de ces substances en cours de transport, ainsi que toute autre installation dans laquelle des combustibles nucléaires ou des produits ou des déchets radioactifs sont détenus et qui serait désignée par le Comité de Direction de l'Energie Nucléaire de l'Organisation (appelé ci-après le "Comité de Direction") ; toute Partie Contractante peut décider que seront considérées comme une installation nucléaire unique, plusieurs installations nucléaires ayant le même exploitant et se trouvant sur le même site, ainsi que toute autre installation sur ce site où sont détenues des matières radioactives.
iii) "Combustibles nucléaires" signifie les matières fissiles comprenant l'uranium sous forme de métal, d'alliage ou de composé chimique (y compris l'uranium naturel), le plutonium sous forme de métal, d'alliage ou de composé chimique et toute autre matière fissile qui serait désignée par le Comité de Direction.
iv) "Produits ou déchets radioactifs" signifie les matières radioactives produites ou rendues radioactives par exposition aux radiations résultant des opérations de production ou d'utilisation de combustibles nucléaires, à l'exclusion, d'une part, des combustibles nucléaires et d'autre part, lorsqu'ils se trouvent en dehors d'une installation nucléaire, des radioisotopes parvenus au dernier stade de fabrication qui sont susceptibles d'être utilisés à des fins industrielles, commerciales, agricoles, médicales, scientifiques ou d'enseignement.
v) "Substances nucléaires" signifie les combustibles nucléaires (à l'exclusion de l'uranium naturel et de l'uranium appauvri) et les produits ou déchets radioactifs.
vi) "Exploitant" d'une installation nucléaire signifie la personne désignée ou reconnue par l'autorité publique compétente comme l'exploitant de cette installation nucléaire.
b) Le Comité de Direction pourra décider qu'une catégorie d'installations nucléaires, de combustibles nucléaires ou de substances nucléaires sera, en raison des risques réduits qu'elle comporte, exclue du champ d'application de la présente Convention.

Article 2
La présente Convention ne s'applique ni aux accidents nucléaires survenus sur le territoire d'Etats non-Contractants ni aux dommages subis sur ces territoires, sauf si la législation de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire dont l'exploitant est responsable en dispose autrement, sans préjudice toutefois des droits prévus à l'article 6 e).

Article 3
a) L'exploitant d'une installation nucléaire est responsable conformément à la présente Convention :
i) de tout dommage aux personnes ; et
ii) de tout dommage aux biens, à l'exclusion :
1. de l'installation nucléaire elle-même et des autres installations nucléaires, même en cours de construction, qui se trouvent sur le site où est implantée cette installation ;
2. des biens qui se trouvent sur ce même site et qui sont ou doivent être utilisés en rapport avec l'une ou l'autre de ces installations, s'il est établi que ce dommage (appelé ci-après le "dommage") est causé par un accident nucléaire survenu dans

cette installation, ou mettant en jeu des substances nucléaires provenant de cette installation, sous réserve des dispositions de l'article 4.
b) Lorsque des dommages sont causés conjointement par un accident nucléaire et un accident autre qu'un accident nucléaire, le dommage causé par ce second accident, dans la mesure où on ne peut le séparer avec certitude du dommage causé par l'accident nucléaire, est considéré comme un dommage causé par l'accident nucléaire. Lorsque le dommage est causé conjointement par un accident nucléaire et par une émission de radiations ionisantes qui n'est pas visée par la présente Convention, aucune disposition de la présente Convention ne limite ni n'affecte autrement la responsabilité de toute personne en ce qui concerne cette émission de radiations ionisantes.

Article 4
Dans le cas de transport de substances nucléaires, y compris le stockage en cours de transport, et sans préjudice de l'article 2 :
a) L'exploitant d'une installation nucléaire est responsable de tout dommage, conformément à la présente Convention, s'il est établi qu'il est causé par un accident nucléaire survenu hors de cette installation et mettant en jeu des substances nucléaires transportées en provenance de cette installation, à condition que l'accident survienne :
i) avant que la responsabilité des accidents nucléaires causés par les substances nucléaires n'ait été assumée, aux termes d'un contrat écrit, par l'exploitant d'une autre installation nucléaire ;
ii) à défaut de dispositions expresses d'un tel contrat, avant que l'exploitant d'une autre installation nucléaire n'ait pris en charge les substances nucléaires ;
iii) si les substances nucléaires sont destinées à un réacteur faisant partie d'un moyen de transport, avant que la personne dûment autorisée à exploiter ce réacteur n'ait pris en charge les substances nucléaires ;
iv) si les substances nucléaires ont été envoyées à une personne se trouvant sur le territoire d'un Etat non-Contractant, avant qu'elles n'aient été déchargées du moyen de transport par lequel elles sont parvenues sur le territoire de cet Etat non-Contractant.
b) L'exploitant d'une installation nucléaire est responsable de tout dommage, conformément à la présente Convention, s'il est établi qu'il est causé par un accident nucléaire survenu hors de cette installation et mettant en jeu des substances nucléaires au cours de transports à destination de cette installation, à condition que l'accident survienne :
i) après que la responsabilité des accidents nucléaires causés par les substances nucléaires lui aura été transférée, aux termes d'un contrat écrit, par l'exploitant d'une autre installation nucléaire ;
ii) à défaut de dispositions expresses d'un contrat écrit, après qu'il aura pris en charge les substances nucléaires ;
iii) après qu'il aura pris en charge les substances nucléaires provenant de la personne exploitant un réacteur faisant partie d'un moyen de transport ;
iv) si les substances nucléaires ont été envoyées, avec le consentement par écrit de l'exploitant, par une personne se trouvant sur le territoire d'un Etat non-Contractant, après qu'elles auront été chargées sur le moyen de transport par lequel elles doivent quitter le territoire de cet Etat non-Contractant.
c) L'exploitant responsable conformément à la présente Convention doit remettre au transporteur un certificat délivré par ou pour le compte de l'assureur ou de toute autre personne ayant accordé une garantie financière conformément à l'article 10. Toutefois, une Partie Contractante peut écarter cette obligation pour les transports se déroulant exclusivement à l'intérieur de son territoire. Le certificat doit énoncer le nom et l'adresse de cet exploitant ainsi que le montant, le type et la durée de la garantie. Les faits énoncés dans le certificat ne peuvent être contestés par la personne par laquelle ou pour le compte de laquelle il a été délivré. Le certificat doit également désigner les substances nucléaires et l'itinéraire couverts par la garantie et comporter une déclaration de l'autorité publique compétente que la personne visée est un exploitant au sens de la présente Convention.
d) La législation d'une Partie Contractante peut prévoir qu'à des conditions qu'elle détermine, un transporteur peut être substitué, en ce qui concerne la responsabilité prévue par la présente Convention, à un exploitant d'une installation nucléaire située sur le territoire de ladite Partie Contractante, par décision de l'autorité publique compétente, à la demande du transporteur et avec l'accord de l'exploitant, si les conditions requises à l'article 10 a) sont remplies. Dans ce cas, le transporteur est considéré, aux fins de la présente Convention, pour les accidents nucléaires survenus en cours de transport de substances nucléaires, comme exploitant d'une installation nucléaire située sur le territoire de ladite Partie Contractante.

Article 5
a) Si les combustibles nucléaires, produits ou déchets radioactifs mis en jeu dans un accident nucléaire ont été détenus successivement dans plusieurs installations nucléaires et sont détenus dans une installation nucléaire au moment où le dommage est causé, aucun exploitant d'une installation dans laquelle ils ont été détenus antérieurement n'est responsable du dommage.
b) Toutefois, si un dommage est causé par un accident nucléaire survenu dans une installation nucléaire et ne mettant en cause que des substances nucléaires qui y sont stockées en cours de transport, l'exploitant de cette installation n'est pas responsable lorsqu'un autre exploitant ou une autre personne est responsable en vertu de l'article 4.
c) Si les combustibles nucléaires, produits ou déchets radioactifs mis en jeu dans un accident nucléaire ont été détenus dans plusieurs installations nucléaires et ne sont pas détenus dans une installation nucléaire au moment où le dommage est causé, aucun exploitant autre que l'exploitant de la dernière installation nucléaire dans laquelle ils ont été détenus avant que le dommage ait été causé, ou que l'exploitant qui les a pris en charge ultérieurement ou en a assumé la responsabilité aux termes d'un contrat écrit, n'est responsable du dommage.
d) Si le dommage implique la responsabilité de plusieurs exploitants conformément à la présente Convention, leur responsabilité est solidaire et cumulative ; toutefois, lorsqu'une telle responsabilité résulte du dommage causé par un accident nucléaire mettant en jeu des substances nucléaires en cours de transport, soit dans un seul et même moyen de transport, soit, en cas de stockage en cours de transport, dans une seule et même installation nucléaire, le montant total maximum de la responsabilité desdits exploitants est égal au montant le plus élevé fixé pour un des exploitants conformément à l'article 7. En aucun cas, la responsabilité d'un exploitant résultant d'un accident nucléaire ne peut dépasser le montant fixé, en ce qui le concerne, à l'article 7.

Article 6
a) Le droit à réparation pour un dommage causé par un accident nucléaire ne peut être exercé que contre un exploitant responsable de ce dommage conformément à la présente Convention ; il peut également être exercé contre l'assureur ou contre toute autre personne ayant accordé une garantie financière à l'exploitant conformément à l'article 10, si un droit d'action directe contre l'assureur ou toute personne ayant accordé une garantie financière est prévu par le droit national.
b) Sous réserve des dispositions du présent article, aucune autre personne n'est tenue de réparer un dommage causé par un

accident nucléaire ; toutefois, cette disposition ne peut affecter l'application des accords internationaux dans le domaine des transports qui sont en vigueur ou ouverts à la signature, à la ratification ou à l'adhésion, à la date de la présente Convention.
c) i) Aucune disposition de la présente Convention n'affecte la responsabilité :
1. de toute personne physique qui, par un acte ou une omission procédant de l'intention de causer un dommage, a causé un dommage résultant d'un accident nucléaire dont l'exploitant, conformément à l'article 3 a) ii) 1. et 2. ou à l'article 9, n'est pas responsable en vertu de la présente Convention ;
2. de la personne dûment autorisée à exploiter un réacteur faisant partie d'un moyen de transport pour un dommage causé par un accident nucléaire, lorsqu'un exploitant n'est pas responsable de ce dommage en vertu de l'article 4 a) iii) ou b) iii).
ii) L'exploitant ne peut être rendu responsable, en dehors de la présente Convention, d'un dommage causé par un accident nucléaire.
d) Toute personne qui a réparé un dommage causé par un accident nucléaire en vertu d'un accord international visé au paragraphe b) du présent article ou en vertu de la législation d'un Etat non-Contractant acquiert par subrogation, à concurrence de la somme versée, les droits dont la personne ainsi indemnisée aurait bénéficié en vertu de la présente Convention.
e) Toute personne ayant son lieu principal d'exploitation sur le territoire d'une Partie Contractante, ou ses préposés, qui ont réparé un dommage nucléaire causé par un accident nucléaire survenu sur le territoire d'un Etat non-Contractant ou un dommage subi sur ce territoire, acquièrent, à concurrence de la somme versée, les droits dont la personne ainsi indemnisée aurait bénéficié en l'absence de l'article 2.
f) L'exploitant n'a un droit de recours que :
i) si le dommage résulte d'un acte ou d'une omission procédant de l'intention de causer un dommage, contre la personne physique auteur de l'acte ou de l'omission intentionnelle ;
ii) si et dans la mesure où le recours est prévu expressément par contrat.
g) Pour autant que l'exploitant ait un droit de recours contre une personne en vertu du paragraphe f) du présent article, ladite personne ne peut avoir un droit contre l'exploitant en vertu des paragraphes d) ou e) du présent article.
h) Si la réparation du dommage met en jeu un régime national ou public d'assurance médicale, de sécurité sociale ou de réparation des accidents du travail et maladies professionnelles, les droits des bénéficiaires de ce régime et les recours éventuels pouvant être exercés contre l'exploitant sont réglés par la loi de la Partie Contractante ou les règlements de l'organisation intergouvernementale ayant établi ce régime.

Article 7
a) Le total des indemnités payables pour un dommage causé par un accident nucléaire ne peut dépasser le montant maximum de la responsabilité, fixé conformément au présent article.
b) Le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant pour les dommages causés par un accident nucléaire est fixé à 15 000 000 de droits de tirage spéciaux tels qu'ils sont définis par le Fonds Monétaire International et utilisés par lui pour ses propres opérations et transactions (appelés ci-après "droits de tirage spéciaux"). Cependant,
i) un autre montant plus ou moins élevé peut être fixé par la législation d'une Partie Contractante, compte tenu de la possibilité pour l'exploitant d'obtenir l'assurance ou une autre garantie financière requise à l'article 10 ;
ii) une Partie Contractante peut d'autre part fixer, eu égard à la nature de l'installation nucléaire ou des substances nucléaires en cause et aux conséquences prévisibles d'un accident les mettant en jeu, un montant moins élevé, sans toutefois que les montants ainsi fixés puissent être inférieurs à 5 000 000 de droits de tirage spéciaux. Les montants prévus au présent paragraphe peuvent être convertis en monnaie nationale en chiffres ronds.
c) La réparation des dommages causés au moyen de transport sur lequel les substances nucléaires en cause se trouvent au moment de l'accident nucléaire ne peut avoir pour effet de réduire la responsabilité de l'exploitant pour les autres dommages à un montant inférieur soit à 5 000 000 de droits de tirage spéciaux, soit au montant plus élevé fixé par la législation d'une Partie Contractante.
d) Le montant fixé en vertu du paragraphe b) du présent article pour la responsabilité des exploitants d'installations nucléaires situées sur le territoire d'une Partie Contractante ainsi que les dispositions de la législation d'une Partie Contractante prises en vertu du paragraphe c) du présent article, s'appliquent à la responsabilité desdits exploitants quel que soit le lieu de l'accident nucléaire.
e) Une Partie Contractante peut subordonner le transit de substances nucléaires à travers son territoire, à la condition que le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant étranger en cause soit augmenté, si elle estime que ledit montant ne couvre pas d'une manière adéquate les risques d'un accident nucléaire au cours de ce transit. Toutefois, le montant maximum ainsi augmenté ne peut excéder le montant maximum de la responsabilité des exploitants d'installations nucléaires situées sur le territoire de cette Partie Contractante.
f) Les dispositions du paragraphe e) du présent article ne s'appliquent pas :
i) au transport par mer lorsqu'il y a, en vertu du droit international, un droit de refuge dans les ports de ladite Partie Contractante, par suite d'un danger imminent, ou un droit de passage inoffensif à travers son territoire ;
ii) au transport par air lorsqu'il y a, en vertu d'un accord ou du droit international, un droit de survol du territoire ou d'atterrissage sur le territoire de ladite Partie Contractante.
g) Les intérêts et dépens liquidés par le tribunal saisi d'une action en réparation en vertu de la présente Convention ne sont pas considérés comme des indemnités au sens de la présente Convention et sont dus par l'exploitant en sus du montant des réparations qui peuvent être dues en vertu du présent article.

Article 8
a) Les actions en réparation, en vertu de la présente Convention, doivent être intentées sous peine de déchéance, dans le délai de dix ans à compter de l'accident nucléaire. Toutefois, la législation nationale peut fixer un délai de déchéance supérieur à dix ans, si la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire dont l'exploitant est responsable prévoit des mesures pour couvrir la responsabilité de l'exploitant à l'égard des actions en réparation introduites après l'expiration du délai de dix ans et pendant la période de prolongation de ce délai. Toutefois, cette prolongation du délai de déchéance ne peut porter atteinte en aucun cas aux droits à réparation en vertu de la présente Convention des personnes ayant intenté contre l'exploitant une action du fait de décès ou de dommages aux personnes avant l'expiration dudit délai de dix ans.
b) Dans le cas de dommage causé par un accident nucléaire mettant en jeu des combustibles nucléaires, produits ou déchets radioactifs qui étaient, au moment de l'accident, volés, perdus, jetés par-dessus bord ou abandonnés et n'avaient pas été récupérés, le délai visé au paragraphe a) de cet article est calculé à partir de la date de cet accident nucléaire, mais il ne peut en aucun cas être supérieur à vingt ans à compter de la date du vol, de la perte, du jet par-dessus bord ou de l'abandon.
c) La législation nationale peut fixer un délai de déchéance ou de prescription de deux ans au moins, soit à compter du moment

où le lésé a eu connaissance du dommage et de l'exploitant responsable, soit à compter du moment où il a dû raisonnablement en avoir connaissance, sans que le délai établi en vertu des paragraphes a) et b) de cet article puisse être dépassé.
d) Dans les cas prévus à l'article 13 c) ii), il n'y a pas de déchéance de l'action en réparation si, dans les délais prévus aux paragraphes a), b) et c) du présent article,
i) une action a été intentée, avant que le Tribunal visé à l'article 17 n'ait pris une décision, devant l'un des tribunaux entre lesquels ledit Tribunal peut choisir ; si le Tribunal désigne comme tribunal compétent, un autre tribunal que celui devant lequel l'action a déjà été intentée, il peut fixer un délai dans lequel l'action doit être intentée devant le tribunal compétent ainsi désigné ;
ii) une demande a été introduite auprès d'une Partie Contractante intéressée en vue de la désignation du tribunal compétent par le Tribunal conformément à l'article 13 c) ii), à condition qu'une action soit intentée après cette désignation dans le délai qui serait fixé par ledit Tribunal.
e) Sauf disposition contraire du droit national, une personne ayant subi un dommage causé par un accident nucléaire qui a intenté une action en réparation dans le délai prévu au présent article peut présenter une demande complémentaire en cas d'aggravation du dommage après l'expiration de ce délai, tant qu'un jugement définitif n'est pas intervenu.

Article 9
L'exploitant n'est pas responsable des dommages causés par un accident nucléaire si cet accident est dû directement à des actes de conflit armé, d'hostilités, de guerre civile, d'insurrection ou, sauf disposition contraire de la législation de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située son installation nucléaire, à des cataclysmes naturels de caractère exceptionnel.

Article 10
a) Tout exploitant devra être tenu, pour faire face à la responsabilité prévue par la présente Convention, d'avoir et de maintenir, à concurrence du montant fixé conformément à l'article 7, une assurance ou une autre garantie financière correspondant au type et aux conditions déterminés par l'autorité publique compétente.
b) L'assureur ou toute autre personne ayant accordé une garantie financière ne peut suspendre l'assurance ou la garantie financière prévue au paragraphe a) du présent article, ou y mettre fin sans un préavis de deux mois au moins donné par écrit à l'autorité publique compétente, ou, dans la mesure où ladite assurance ou autre garantie financière concerne un transport de substances nucléaires, pendant la durée de ce transport.
c) Les sommes provenant de l'assurance, de la réassurance ou d'une autre garantie financière ne peuvent servir qu'à la réparation des dommages causés par un accident nucléaire.

Article 11
La nature, la forme et l'étendue de la réparation, ainsi que la répartition équitable des indemnités sont régies, dans les limites prévues par la présente Convention, par le droit national.

Article 12
Les indemnités payables, conformément à la présente Convention, les primes d'assurance et de réassurance ainsi que les sommes provenant de l'assurance, de la réassurance ou d'une autre garantie financière en vertu de l'article 10, et les intérêts et dépens visés à l'article 7 g), sont librement transférables entre les zones monétaires des Parties Contractantes.

Article 13
a) Sauf dans les cas où le présent article en dispose autrement, les tribunaux de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle l'accident nucléaire est survenu, sont seuls compétents pour statuer sur les actions introduites en vertu des articles 3, 4, 6 a) et 6 e).
b) Lorsqu'un accident nucléaire survient hors des territoires des Parties Contractantes, ou que le lieu de l'accident nucléaire ne peut être déterminé avec certitude, les tribunaux de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire dont l'exploitant est responsable sont seuls compétents.
c) Lorsqu'en vertu des paragraphes a) ou b) du présent article les tribunaux de plusieurs Parties Contractantes sont compétents, la compétence est attribuée,
i) si l'accident nucléaire est survenu en partie en dehors du territoire de toute Partie Contractante et en partie sur le territoire d'une seule Partie Contractante, aux tribunaux de cette dernière ;
ii) dans tout autre cas, aux tribunaux de la Partie Contractante désignée, à la demande d'une Partie Contractante intéressée, par le Tribunal visé à l'article 17, comme étant la plus directement liée à l'affaire.
d) Lorsque les jugements prononcés contradictoirement ou par défaut par le tribunal compétent en vertu des dispositions du présent article sont exécutoires d'après les lois appliquées par ce tribunal, ils deviennent exécutoires sur le territoire de toute autre Partie Contractante dès l'accomplissement des formalités prescrites par la Partie Contractante intéressée. Aucun nouvel examen du fond de l'affaire n'est admis. Cette disposition ne s'applique pas aux jugements qui ne sont exécutoires que provisoirement.
e) Si une action en réparation est intentée contre une Partie Contractante en vertu de la présente Convention, ladite Partie Contractante ne peut invoquer son immunité de juridiction devant le tribunal compétent en vertu du présent article, sauf en ce qui concerne les mesures d'exécution.

Article 14
a) La présente Convention doit être appliquée sans aucune discrimination fondée sur la nationalité, le domicile ou la résidence.
b) Le "droit national" et la "législation nationale" signifient le droit ou la législation nationale du tribunal compétent en vertu de la présente Convention pour statuer sur les actions résultant d'un accident nucléaire ; le droit ou la législation nationale est applicable pour toutes les questions de fond et de procédure qui ne sont pas réglées spécialement par la présente Convention.
c) Le droit et la législation nationale doivent être appliqués sans aucune discrimination fondée sur la nationalité, le domicile ou la résidence.

Article 15
a) Il appartient à chaque Partie Contractante de prendre les mesures qu'elle estime nécessaires en vue d'accroître l'importance de la réparation prévue par la présente Convention.
b) Pour la part des dommages dont la réparation proviendrait d'une intervention financière mettant en jeu des fonds publics et qui excéderait le montant minimum de 5 000 000 de droits de tirage spéciaux prévu à l'article 7, l'application de ces mesures,

quelle que soit leur forme, pourrait être soumise à des conditions particulières dérogeant aux dispositions de la présente Convention.

Article 16
Les dispositions prises par le Comité de Direction en vertu de l'article 1 a) ii), 1 a) iii) et 1 b), sont adoptées par accord mutuel des membres représentant les Parties Contractantes.

Article 17
Tout différend entre deux ou plusieurs Parties Contractantes relatif à l'interprétation ou à l'application de la présente Convention sera examiné par le Comité de Direction et à défaut de solution amiable soumis, à la demande d'une Partie Contractante intéressée, au Tribunal créé par la Convention en date du 20 décembre 1957 sur l'Etablissement d'un Contrôle de Sécurité dans le Domaine de l'Energie Nucléaire.

Article 18
a) Des réserves portant sur une ou plusieurs dispositions de la présente Convention peuvent être formulées à tout moment avant la ratification ou l'adhésion à la présente Convention, ou avant la notification faite en vertu de l'article 23 en ce qui concerne le ou les territoires visés par cette notification ; ces réserves ne sont recevables que si leurs termes ont été expressément acceptés par les Signataires.
b) Toutefois, l'acceptation d'un Signataire n'est pas requise, si celui-ci n'a pas lui-même ratifié la Convention dans un délai de douze mois à partir de la date où la notification de la réserve lui a été communiquée par le Secrétaire général de l'Organisation, conformément à l'article 24.
c) Toute réserve acceptée conformément au présent article peut être retirée à tout moment par notification adressée au Secrétaire général de l'Organisation.

Article 19
a) La présente Convention sera ratifiée. Les instruments de ratification seront déposés auprès du Secrétaire général de l'Organisation.
b) La présente Convention entrera en vigueur dès que cinq au moins des Signataires auront déposé leur instrument de ratification. Pour tout Signataire qui la ratifiera ultérieurement, la présente Convention entrera en vigueur dès qu'il aura déposé son instrument de ratification.

Article 20
Les modifications à la présente Convention seront adoptées par accord mutuel de toutes les Parties Contractantes. Elles entreront en vigueur lorsqu'elles auront été ratifiées ou confirmées par les deux tiers des Parties Contractantes. Pour toutes Parties Contractantes qui les ratifieront ou confirmeront ultérieurement, les modifications entreront en vigueur à la date de cette ratification ou confirmation.

Article 21
a) Tout Gouvernement d'un pays membre ou associé de l'Organisation, non Signataire de la présente Convention, pourra y adhérer par notification adressée au Secrétaire général de l'Organisation.
b) Tout Gouvernement d'un autre pays non Signataire de la présente Convention pourra y adhérer par notification adressée au Secrétaire général de l'Organisation et avec l'accord unanime des Parties Contractantes. L'adhésion prendra effet à la date de cet accord.

Article 22
a) La présente Convention est conclue pour une durée de dix ans à compter de la date de son entrée en vigueur. Toute Partie Contractante pourra mettre fin en ce qui la concerne à l'application de la présente Convention au terme de ce délai en donnant un préavis d'un an à cet effet au Secrétaire général de l'Organisation.
b) La présente Convention restera par la suite en vigueur pour une période de cinq ans, vis-à-vis des Parties Contractantes qui n'auront pas mis fin à son application conformément au paragraphe a) du présent article et ultérieurement, par périodes successives de cinq ans, vis-à-vis des Parties Contractantes qui n'y auront pas mis fin au terme de l'une de ces périodes, en donnant un préavis d'un an à cet effet au Secrétaire général de l'Organisation.
c) Une conférence sera convoquée par le Secrétaire général de l'Organisation pour examiner la révision de la présente Convention, au terme de la période de cinq ans qui suivra la date de son entrée en vigueur ou, à tout autre moment, à la demande d'une Partie Contractante, dans un délai de six mois à compter de cette demande.

Article 23
a) La présente Convention s'applique aux territoires métropolitains des Parties Contractantes.
b) Tout Signataire ou Partie Contractante peut, au moment de la signature ou de la ratification de la présente Convention ou de son adhésion à la présente Convention, ou ultérieurement à tout moment, indiquer par notification adressée au Secrétaire général de l'Organisation que la présente Convention s'applique à ceux de ses territoires, y compris les territoires pour lesquels la Partie Contractante est responsable dans les relations internationales, auxquels elle n'est pas applicable en vertu du paragraphe a) du présent article et qui sont désignés dans la notification. Une telle notification peut, en ce qui concerne tout territoire qui y est désigné, être retirée en donnant un préavis d'un an à cet effet au Secrétaire général de l'Organisation.
c) Les territoires d'une Partie Contractante, y compris ceux pour lesquels elle est responsable dans les relations internationales, auxquels la présente Convention ne s'applique pas, sont considérés aux fins de ladite Convention comme territoires d'un Etat non-Contractant.

Article 24
Le Secrétaire général de l'Organisation donnera communication à tous les Signataires et Gouvernements ayant adhéré à la Convention de la réception des instruments de ratification, d'adhésion et de retrait, ainsi que des notifications faites en vertu de l'article 23 et des décisions prises par le Comité de Direction en vertu de l'article 1 a) ii), 1 a) iii) et 1 b). Il leur notifiera également la date de l'entrée en vigueur de la présente Convention, le texte des modifications adoptées et la date de l'entrée en vigueur desdites modifications, ainsi que les réserves faites conformément à l'article 18.

Annexe 2

Convention du 31 janvier 1963 complémentaire à la Convention de Paris du 29 juillet 1960 (Convention complémentaire de Bruxelles) 31 janvier 1963 amendée le 28 janvier 1964 et le 16 novembre 1982

LES **GOUVERNEMENTS** de la République Fédérale d'Allemagne, de la République d'Autriche, du Royaume de Belgique, du Royaume de Danemark, du Royaume d'Espagne, de la République de Finlande, de la République Francaise, de la République Italienne, du Grand-Duché de Luxembourg, du Royaume de Norvège, du Royaume des Pays-Bas, du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, du Royaume de Suède et de la Confédération Suisse 1),

PARTIES à la Convention du 29 juillet 1960 sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, conclue dans le cadre de l'Organisation Européenne de Coopération Economique devenue l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques et telle qu'elle a été modifiée par le Protocole Additionnel conclu à Paris, le 28 janvier 1964, et par le Protocole conclu à Paris, le 16 novembre 1982 (ci-après dénommée "Convention de Paris"),

DESIREUX d'apporter un complément aux mesures prévues dans cette Convention, en vue d'accroître l'importance de la réparation des dommages qui pourraient résulter de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques,

SONT CONVENUS de ce qui suit :

Article 1
Le régime complémentaire à celui de la Convention de Paris, institué par la présente Convention, est soumis aux dispositions de la Convention de Paris ainsi qu'aux dispositions fixées ci-après.

Article 2
a) Le régime de la présente Convention s'applique aux dommages causés par des accidents nucléaires autres que ceux qui sont survenus entièrement sur le territoire d'un Etat non Contractant à la présente Convention :
i)dont la responsabilité incombe, en vertu de la Convention de Paris, à l'exploitant d'une installation nucléaire à usage pacifique, située sur le territoire d'une Partie Contractante à la présente Convention (ci-après dénommée "Partie Contractante") et figurant sur la liste établie et mise à jour dans les conditions prévues à l'article 13, et
ii)subis :
1.sur le territoire d'une Partie Contractante ou
2.en haute mer ou au-dessus, à bord d'un navire ou d'un aéronef immatriculé sur le territoire d'une Partie Contractante ou
3.en haute mer ou au-dessus, par un ressortissant d'une Partie Contractante à condition, s'il s'agit de dommages à un navire ou à un aéronef, que celui-ci soit immatriculé sur le territoire d'une Partie Contractante, sous réserve que les tribunaux d'une Partie Contractante soient compétents conformément à la Convention de Paris.
b) Tout Signataire ou Gouvernement adhérent à la Convention peut, au moment de la signature de la présente Convention ou de son adhésion à celle-ci ou au moment du dépôt de son instrument de ratification, déclarer qu'il assimile à ses propres ressortissants, aux fins de l'application du paragraphe a) ii)
3. ci-dessus, les personnes physiques qui ont leur résidence habituelle sur son territoire au sens de sa législation, ou certaines catégories d'entre elles.
c) Au sens du présent article, l'expression "ressortissant d'une Partie Contractante" couvre une Partie Contractante ou toute subdivision politique d'une telle Partie, ou toute personne morale de droit public ou de droit privé, ainsi que toute entité publique ou privée n'ayant pas la personnalité juridique établie, sur le territoire d'une Partie Contractante.

Article 3
a) Dans les conditions fixées par la présente Convention, les Parties Contractantes s'engagent à ce que la réparation des dommages visés à l'article 2 soit effectuée à concurrence d'un montant de 300 millions de droits de tirage spéciaux par accident.
b) Cette réparation est effectuée :
i) à concurrence d'un montant au moins égal à 5 millions de droits de tirage spéciaux, fixé à cet effet en vertu de la législation de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de l'exploitant responsable, au moyen de fonds provenant d'une assurance ou d'une autre garantie financière ;
ii) entre ce montant et 175 millions de droits de tirage spéciaux, au moyen de fonds publics à allouer par la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de l'exploitant responsable ;
iii) entre 175 et 300 millions de droits de tirage spéciaux, au moyen de fonds publics à allouer par les Parties Contractantes selon la clé de répartition prévue à l'article 12.
c) A cet effet, chaque Partie Contractante doit :
i) soit fixer, conformément à l'article 7 de la Convention de Paris, le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant à 300 millions de droits de tirage spéciaux et disposer que cette responsabilité est couverte par l'ensemble des fonds visés au paragraphe b) ci-dessus ;
ii) soit fixer le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant à un niveau au moins égal à celui qui est fixé conformément au paragraphe b) i) ci-dessus et disposer qu'au-delà de ce montant et jusqu'à 300 millions de droits de tirage spéciaux, les fonds publics visés au paragraphe b) ii) et iii) ci-dessus sont alloués à un titre différent de celui d'une couverture de la responsabilité de l'exploitant ; toutefois, elle ne doit pas porter atteinte aux règles de fond et de procédure fixées par la présente Convention.
d) Les créances découlant de l'obligation pour l'exploitant de réparer des dommages ou de payer des intérêts et dépens au moyen des fonds alloués conformément aux paragraphes b) ii), iii) et f) du présent article ne sont exigibles à son égard qu'au fur et à mesure de l'allocation effective de ces fonds.
e) Les Parties Contractantes s'engagent à ne pas faire usage dans l'exécution de la présente Convention de la faculté prévue à l'article 15 b) de la Convention de Paris d'édicter des conditions particulières :
i) pour la réparation des dommages effectuée au moyen des fonds visés au paragraphe b) i) ci-dessus ;
ii) en dehors de celles de la présente Convention, pour la réparation des dommages effectuée au moyen des fonds publics visés au paragraphe b) ii) et iii) ci-dessus.

f) Les intérêts et dépens visés à l'article 7 g) de la Convention de Paris sont payables au-delà des montants indiqués au paragraphe b) ci-dessus. Dans la mesure où ils sont alloués au titre d'une réparation payable sur les fonds visés :
i)au paragraphe b) i) ci-dessus, ils sont à la charge de l'exploitant responsable ;
ii)au paragraphe b) ii) ci-dessus, ils sont à la charge de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de cet exploitant ;
iii)au paragraphe b) iii) ci-dessus, ils sont à la charge de l'ensemble des Parties Contractantes.
g) Au sens de la présente Convention, "droit de tirage spécial" signifie le droit de tirage spécial tel qu'il est défini par le Fonds Monétaire International. Les montants mentionnés dans la présente Convention sont convertis dans la monnaie nationale d'une Partie Contractante suivant la valeur de cette monnaie à la date de l'accident à moins qu'une autre date ne soit fixée d'un commun accord pour un accident donné, par les Parties Contractantes. La valeur en droits de tirages spéciaux, de la monnaie nationale d'une partie Contractante est calculée selon la méthode d'évaluation appliquée à la date en question par le Fonds Monétaire International pour ses propres opérations et transactions.

Article 4
a) Si un accident nucléaire entraîne un dommage qui implique la responsabilité de plusieurs exploitants, le cumul des responsabilités prévu à l'article 5 d) de la Convention de Paris ne joue, dans la mesure où des fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et iii) doivent être alloués, qu'à concurrence d'un montant de 300 millions de droits de tirage spéciaux.
b) Le montant global des fonds publics alloués en vertu de l'article 3 b) ii) et iii) ne peut dépasser, dans ce cas, la différence entre 300 millions de droits de tirage spéciaux et le total des montants déterminés pour ces exploitants, conformément à l'article 3 b) i) ou, dans le cas d'un exploitant dont l'installation nucléaire est située sur le territoire d'un Etat non Contractant à la présente Convention, conformément à l'article 7 de la Convention de Paris. Si plusieurs Parties Contractantes sont tenues d'allouer des fonds publics, conformément à l'article 3 b) ii), la charge de cette allocation est répartie entre elles au prorata du nombre des installations nucléaires situées sur le territoire de chacune d'elles qui sont impliquées dans l'accident nucléaire et dont les exploitants sont responsables.

Article 5
a) Dans le cas où l'exploitant responsable a un droit de recours conformément à l'article 6 f) de la Convention de Paris, la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de cet exploitant adopte dans sa législation les dispositions nécessaires pour permettre à cette Partie Contractante et aux autres Parties Contractantes de bénéficier de ce recours dans la mesure où des fonds publics sont alloués au titre de l'article 3 b) ii), iii) et f).
b) Cette législation peut prévoir à l'encontre de cet exploitant des dispositions pour la récupération des fonds publics alloués au titre de l'article 3 b) ii), iii) et f) si le dommage résulte d'une faute qui lui soit imputable.

Article 6
Pour le calcul des fonds à allouer en vertu de la présente Convention, seuls sont pris en considération les droits à réparation exercés dans un délai de dix ans à compter de l'accident nucléaire. En cas de dommage causé par un accident nucléaire mettant en jeu des combustibles nucléaires, produits ou déchets radioactifs qui étaient, au moment de l'accident, volés, perdus, jetés par-dessus bord ou abandonnés et n'avaient pas été récupérés, un tel délai ne peut, en aucun cas, être supérieur à vingt ans à compter de la date du vol, de la perte, du jet par-dessus bord ou de l'abandon. Il est en outre prolongé dans les cas et aux conditions fixées à l'article 8 d) de la Convention de Paris. Les demandes complémentaires présentées après l'expiration de ce délai, dans les conditions prévues à l'article 8 e) de la Convention de Paris, sont également prises en considération.

Article 7
Lorsqu'une Partie Contractante fait usage de la faculté prévue à l'article 8 c) de la Convention de Paris, le délai qu'elle fixe est un délai de prescription de trois ans à compter soit du moment où le lésé a eu connaissance du dommage et de l'exploitant responsable, soit du moment où il a dû raisonnablement en avoir connaissance.

Article 8
Toute personne bénéficiant des dispositions de la présente Convention a droit à la réparation intégrale du dommage subi, conformément aux dispositions prévues par le droit national. Toutefois, chaque Partie Contractante peut fixer des critères de répartition équitables pour le cas où le montant des dommages dépasse ou risque de dépasser :
i) 300 millions de droits de tirage spéciaux, ou
ii) la somme plus élevée qui résulterait d'un cumul de responsabilités en vertu de l'article 5 d) de la Convention de Paris, sans qu'il en résulte, quelle que soit l'origine des fonds et sous réserve des dispositions de l'article 2, de discrimination en fonction de la nationalité, du domicile ou de la résidence de la personne ayant subi le dommage.

Article 9
a) Le régime d'allocation des fonds publics visés à l'article 3 b) ii), iii) et f) est celui de la Partie Contractante dont les tribunaux sont compétents.
b) Chaque Partie Contractante prend les dispositions nécessaires pour que les personnes ayant subi un dommage puissent faire valoir leurs droits à réparation sans avoir à entamer des procédures différentes selon l'origine des fonds destinés à cette réparation.
c) Aucune Partie Contractante n'est tenue d'allouer les fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et iii) tant que des fonds visés à l'article 3 b) i) restent disponibles.

Article 10
a) La Partie Contractante dont les tribunaux sont compétents est tenue d'informer les autres Parties Contractantes de la survenance et des circonstances d'un accident nucléaire dès qu'il apparaît que les dommages causés par cet accident dépassent ou risquent de dépasser le montant de 175 millions de droits de tirage spéciaux. Les Parties Contractantes prennent sans délai toutes dispositions nécessaires pour régler les modalités de leurs rapports à ce sujet.
b) Seule la Partie Contractante dont les tribunaux sont compétents peut demander aux autres Parties Contractantes l'allocation des fonds publics visés à l'article 3 b) iii) et f) et a compétence pour attribuer ces fonds.
c) Cette Partie Contractante exerce, le cas échéant, les recours visés à l'article 5 pour le compte des autres Parties Contractantes qui auraient alloué des fonds publics au titre de l'article 3 b) iii) et f).
d) Les transactions intervenues conformément aux conditions fixées par la législation nationale au sujet de la réparation des dommages effectuée au moyen des fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et iii) seront reconnues par les autres Parties

Contractantes, et les jugements prononcés par les tribunaux compétents au sujet d'une telle réparation deviendront exécutoires sur le territoire des autres Parties Contractantes conformément aux dispositions de l'article 13 d) de la Convention de Paris.

Article 11
a) Si les tribunaux compétents relèvent d'une Partie Contractante autre que celle sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de l'exploitant responsable, les fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et f) sont alloués par la première de ces Parties. La Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de l'exploitant responsable rembourse à l'autre les sommes versées. Ces deux Parties Contractantes déterminent d'un commun accord les modalités du remboursement.
b) Dans l'adoption de toutes dispositions législatives, réglementaires ou administratives postérieures au moment de l'accident nucléaire et relatives à la nature, à la forme et à l'étendue de la réparation, aux modalités d'allocation des fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et, le cas échéant, aux critères de répartition de ces fonds, la Partie Contractante dont les tribunaux sont compétents consulte la Partie Contractante sur le territoire de laquelle est située l'installation nucléaire de l'exploitant responsable. En outre, elle prend toutes mesures nécessaires pour permettre à celle-ci d'intervenir dans les procès et de participer aux transactions concernant la réparation.

Article 12
a) La clé de répartition selon laquelle les Parties Contractantes allouent les fonds publics visés à l'article 3 b) iii) est calculée:
i) à concurrence de 50 pour cent, sur la base du rapport existant entre, d'une part, le produit national brut aux prix courants de chaque Partie Contractante et, d'autre part, le total des produits nationaux bruts aux prix courants de toutes les Parties Contractantes, tels qu'ils résultent de la statistique officielle publiée par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques pour l'année précédant celle au cours de laquelle l'accident nucléaire sera survenu ;
ii) à concurrence de 50 pour cent, sur la base du rapport existant entre, d'une part, la puissance thermique des réacteurs situés sur le territoire de chaque Partie Contractante et, d'autre part, la puissance thermique totale des réacteurs situés sur l'ensemble des territoires des Parties Contractantes. Ce calcul sera effectué sur la base de la puissance thermique des réacteurs figurant, à la date de l'accident, sur la liste prévue à l'article 2 a) i). Cependant, un réacteur n'est pris en considération pour ce calcul qu'à partir de la date à laquelle il a atteint, pour la première fois, la criticalité.
b) Au sens de la présente Convention, "puissance thermique" signifie :
i) avant la délivrance de l'autorisation d'exploitation définitive, la puissance thermique prévue ;
ii) après cette délivrance, la puissance thermique autorisée par les autorités nationales compétentes.

Article 13
a) Chaque Partie Contractante doit faire figurer sur la liste prévue à l'article 2 a) i) toutes les installations nucléaires à usage pacifique situées sur son territoire, répondant aux définitions de l'article premier de la Convention de Paris.
b) A cet effet, chaque Signataire ou Gouvernement adhérent à la présente Convention communique, au moment du dépôt de son instrument de ratification ou d'adhésion, le relevé complet de ces installations, au Gouvernement belge.
c) Ce relevé contient :
i) pour toutes les installations non encore achevées, l'indication de la date prévue d'existence du risque d'accident nucléaire ;
ii) et de plus, pour les réacteurs, l'indication de la date à laquelle il est prévu qu'ils atteindront pour la première fois la criticalité et l'indication de leur puissance thermique.
d) Chaque Partie Contractante communique, en outre, au Gouvernement belge, la date exacte de l'existence du risque d'accident nucléaire et, pour les réacteurs, celle à laquelle ils ont atteint pour la première fois la criticalité.
e) Chaque Partie Contractante communique au Governement belge toute modification à apporter à la liste. Au cas où la modification comporte l'adjonction d'une installation nucléaire, la communication doit être faite au moins trois mois avant la date prévue d'existence du risque d'accident nucléaire.
f) Si une Partie Contractante est d'avis que le relevé ou une modification à apporter à la liste communiquée par une autre Partie Contractante n'est pas conforme aux dispositions de l'article 2 a) i) et aux dispositions du présent article, elle ne peut soulever d'objections à cet égard qu'en les adressant au Gouvernement belge dans un délai de trois mois à compter de la date à laquelle elle a reçu une notification conformément au paragraphe h) ci-dessous.
g) Si une Partie Contractante est d'avis qu'une des communications requises conformément au présent article n'a pas été faite dans les délais prescrits, elle ne peut soulever d'objections qu'en les adressant au Gouvernement belge dans un délai de trois mois à compter du moment où elle a eu connaissance des faits qui auraient dû, selon elle, être communiqués.
h) Le Gouvernement belge notifiera dès que possible à chaque Partie Contractante les communications et objections qu'il aura reçues conformément au présent article.
i) L'ensemble des relevés et modifications visés aux paragraphes b), c), d) et e) ci-dessus constitue la liste prévue à l'article 2 a) i), étant précisé que les objections présentées aux termes des paragraphes f) et g) ci-dessus ont effet rétroactif au jour où elles ont été formulées, si elles sont admises.
j) Le Gouvernement belge adresse aux Parties Contractantes sur leur demande un état à jour comprenant les installations nucléaires tombant sous la présente Convention et les indications fournies à leur sujet en vertu du présent article.

Article 14
a) Dans la mesure où la présente Convention n'en dispose pas autrement, chaque Partie Contractante peut exercer les compétences qui lui sont dévolues par la Convention de Paris et toutes les dispositions ainsi prises sont opposables aux autres Parties Contractantes pour l'allocation des fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et iii).
b) Toutefois les dispositions prises par une Partie Contractante conformément aux articles 2 et 9 de la Convention de Paris ne sont opposables à une autre Partie Contractante pour l'allocation des fonds publics visés à l'article 3 b) ii) et iii) que si elles ont reçu son consentement.
c) La présente Convention ne s'oppose pas à ce qu'une Partie Contractante prenne des dispositions en dehors du cadre de la Convention de Paris et de la présente Convention, sous réserve toutefois que ces dispositions n'entraînent pas d'obligations supplémentaires pour les autres Parties Contractantes dans la mesure où des fonds publics de ces Parties sont en cause.

Article 15
a) Toute Partie Contractante peut conclure avec un Etat non Contractant à la présente Convention un accord portant sur la réparation, au moyen de fonds publics, de dommages causés par un accident nucléaire.
b) Dans la mesure où les conditions de réparation résultant d'un tel accord ne sont pas plus favorables que celles résultant des dispositions prises pour l'application de la Convention de Paris et de la présente Convention par la Partie Contractante

considérée, le montant des dommages indemnisables en vertu d'un tel accord et causés par un accident nucléaire couvert par la présente Convention peut être pris en considération, en vue de l'application de l'article 8, deuxième phrase pour le calcul du montant total des dommages causés par cet accident.
c) En aucun cas, les dispositions des paragraphes a) et b) ci-dessus ne peuvent affecter les obligations incombant en vertu de l'article 3 b) ii) et iii) aux Parties Contractantes qui n'auraient pas donné leur consentement à un tel accord.
d) Toute Partie Contractante qui se propose de conclure un tel accord doit faire part de son intention aux autres Parties Contractantes. Les accords conclus doivent être notifiés au Gouvernement belge.

Article 16
a)Les Parties Contractantes se consulteront à l'égard de tous les problèmes d'intérêt commun posés par l'application de la présente Convention et de la Convention de Paris, notamment des articles 20 et 22 c) de cette dernière.
b)Elles se consulteront sur l'opportunité de réviser la présente Convention au terme de la période de cinq ans qui suivra la date de son entrée en vigueur, et à tout autre moment à la demande d'une Partie Contractante.

Article 17
Tout différend entre deux ou plusieurs Parties Contractantes relatif à l'interprétation ou à l'application de la présente Convention sera soumis, à la demande d'une Partie Contractante intéressée, au Tribunal Européen pour l'Energie Nucléaire créé par la Convention en date du 20 décembre 1957 sur l'Etablissement d'un Contrôle de Sécurité dans le domaine de l'Energie Nucléaire.

Article 18
a) Des réserves portant sur une ou plusieurs dispositions de la présente Convention peuvent être formulées à tout moment avant la ratification de la présente Convention, si leurs termes ont été expressément acceptés par tous les Signataires, ou lors, soit de l'adhésion, soit de l'utilisation des dispositions des articles 21 et 24, si leurs termes ont été expressément acceptés par tous les Signataires et Gouvernements adhérents à la présente Convention.
b) Toutefois, l'acceptation d'un Signataire n'est pas requise si celui-ci n'a pas lui-même ratifié la présente Convention dans un délai de douze mois à partir de la date où la notification de la réserve lui a été communiquée par le Gouvernement belge conformément à l'article 25.
c) Toute réserve acceptée conformément aux dispositions du paragraphe a) ci-dessus peut être retirée à tout moment par notification adressée au Gouvernement belge.

Article 19
Un Etat ne peut devenir ou rester Partie Contractante à la présente Convention que s'il est Partie Contractante à la Convention de Paris.

Article 20
a)L'Annexe à la présente Convention fait partie intégrante de cette dernière.
b)La présente Convention sera ratifiée. Les instruments de ratification seront déposés auprès du Gouvernement belge.
c)La présente Convention entrera en vigueur trois mois après le dépôt du sixième instrument de ratification.
d)Pour chaque Signataire ratifiant la présente Convention après le sixième dépôt, elle prendra effet trois mois après la date du dépôt de son instrument de ratification.

Article 21
Les modifications à la présente Convention sont adoptées du commun accord des Parties Contractantes. Elles entrent en vigueur à la date à laquelle toutes les Parties Contractantes les auront ratifiées ou confirmées.

Article 22
a) Après l'entrée en vigueur de la présente Convention, toute Partie Contractante à la Convention de Paris qui n'a pas signé la présente Convention peut demander à y adhérer par notification adressée au Gouvernement belge.
b) L'adhésion requiert l'accord unanime des Parties Contractantes.
c) A la suite de cet accord, la Partie Contractante à la Convention de Paris ayant demandé l'adhésion dépose son instrument d'adhésion auprès du Gouvernement belge.
d) L'adhésion prendra effet trois mois après la date du dépôt de l'instrument d'adhésion.

Article 23
a) La présente Convention reste en vigueur jusqu'à l'expiration de la Convention de Paris.
b) Toute Partie Contractante pourra mettre fin, en ce qui la concerne, à l'application de la présente Convention au terme du délai de dix ans fixé à l'article 22 a) de la Convention de Paris, en donnant un préavis d'un an à cet effet notifié au Gouvernement belge. Dans le délai de six mois suivant la notification de ce préavis, chaque Partie Contractante pourra par une notification au Gouvernement belge mettre fin à la présente Convention, en ce qui la concerne, à la date où elle cessera d'avoir effet à l'égard de la Partie Contractante qui aura effectué la première notification.
c) L'expiration de la présente Convention ou le retrait d'une des Parties Contractantes ne met pas fin aux obligations que chaque Partie Contractante assume, en vertu de la présente Convention, pour la réparation des dommages causés par un accident nucléaire survenant avant la date de cette expiration ou de ce retrait.
d) Les Parties Contractantes se consulteront en temps opportun sur les mesures à prendre après l'expiration de la présente Convention ou le retrait d'une ou de plusieurs Parties Contractantes, afin que soient réparés, dans une mesure comparable à celle prévue par la présente Convention, les dommages causés par des accidents survenus après la date de cette expiration ou de ce retrait, et dont la responsabilité incombe à l'exploitant d'une installation nucléaire qui était en fonctionnement avant cette date sur les territoires des Parties Contractantes.

Article 24
a) La présente Convention s'applique aux territoires métropolitains des Parties Contractantes.
b) Toute Partie Contractante qui désire que la présente Convention soit rendue applicable à un ou plusieurs territoires pour lesquels, conformément à l'article 23 de la Convention de Paris, elle a indiqué que cette dernière Convention s'applique, adresse une demande au Gouvernement belge.
c) L'application de la présente Convention à ces territoires requiert l'accord unanime des Parties Contractantes.

d) A la suite de cet accord, la Partie Contractante intéressée adresse au Gouvernement belge une déclaration qui prend effet à compter du jour de sa réception.
e) Une telle déclaration peut, en ce qui concerne tout territoire qui y est désigné, être retirée par la Partie Contractante qui l'a faite, en donnant un préavis d'un an à cet effet notifié au Gouvernement belge.
f) Si la Convention de Paris cesse d'être applicable à un de ces territoires, la présente Convention cesse également de lui être applicable.

Article 25
Le Gouvernement belge donne communication à tous les Signataires et Gouvernements ayant adhéré à la Convention, de la réception des instruments de ratification, d'adhésion, de retrait et de toutes autres notifications qu'il aurait reçues. Il leur notifie également la date d'entrée en vigueur de la présente Convention, le texte des modifications adoptées et la date d'entrée en vigueur de ces modifications, ainsi que les réserves faites conformément à l'article 18.

Annexe 3

Etats parties à la Convention de Vienne (1963/1997)

Pays	Date de ratification à la Convention de Vienne (1963)	Date de ratification au Protocole additionnel de 1997
Argentine	1967	2000
Arménie	1993	…
Biélorussie	1998	2003
Bolivie	1968	…
Bosnie	1998	…
Brésil	1993	…
Bulgarie*	1994	…
Cameroun*	1964	…
Chili*	1989	…
Croatie*	1992	…
Cuba	1965	…
Egypte*	1965	…
Estonie*	1994	…
Hongrie*	1989	…
Lettonie*	1995	2001
Liban	1997	…
Lituanie*	1992	…
Macédoine	1994	…
Maroc	…	1999
Mexique	1989	…
Moldavie	1998	…
Niger	1979	…
Pérou	1980	…
Philippines	1965	…
Pologne*	1990	…
République Tchèque*	1994	…
Roumanie*	1992	1998
Russie	2005	…
Slovaquie*	1995	…
Slovénie*	1992	…
St Vincent*	2001	…
Trinité et Tobago	1966	…
Ukraine*	1966	…
Uruguay	1999	…
Yougoslavie	2002	…

***Etats parties au Protocole commun de 1988**

Annexe 4

Loi française n°68-943 du 30 octobre 1968 relative à la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire (JO du 31 octobre 1968) modifié par la Loi n°90-488 du 16 juin 1990 (JO du 17 juin 1990) et la Loi n°200 6-686 du 13 juin 2006 (JO n°136 du 14 juin 2006)

Article 1er (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 1er et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
"Les dispositions de la présente loi fixent les mesures qui, en vertu de la convention relative à la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire signée à Paris le 29 juillet 1960, de la convention complémentaire signée à Bruxelles le 31 janvier 1963 et des protocoles additionnels à ces conventions signés à Paris les 28 janvier 1964, 16 novembre 1982 et 12 février 2004, sont laissées à l'initiative de chaque partie contractante".

Article 2 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 2 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
Sont soumises aux dispositions de la présente loi les personnes physiques ou morales, publiques ou privées, qui exploitent une installation nucléaire, civile ou militaire, entrant dans le champ d'application de la Convention de Paris et dont le régime a été défini par les décrets pris en application de l'article 8 de la loi n° 61-842 du 2 août 1961 relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs et portant modification de la loi du 19 décembre 1917.
"Pour l'application de la présente loi, lorsque plusieurs installations nucléaires ou une installation nucléaire et toute autre installation dans laquelle sont détenues des matières radioactives ont le même exploitant et se trouvent sur un même site, elles sont considérées comme une installation nucléaire unique."

Article 3 (Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
"La présente loi s'applique aux dommages nucléaires tels que définis au VII du a de l'article 1er de la convention de Paris précitée".

Article 4 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 3 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
Le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant est fixé à "700 millions d'euros pour les dommages nucléaires causés par chaque accident nucléaire".
Toutefois, le montant ci-dessus est réduit à "70 millions d'euros" pour un même accident nucléaire lorsque ne sont exploitées sur un site déterminé que des installations à risque réduit. Les caractéristiques de ces installations sont définies par décret pris après avis rendu public de la commission interministérielle des installations nucléaires de base. "Ce montant est également réduit dans les cas où la convention de Paris est applicable à un Etat non contractant conformément aux II et IV du a de son article 2, dans la mesure où cet Etat n'accorde pas un montant équivalent et à due concurrence de ce dernier montant".

Article 5 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 4 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
Au-delà du montant de la responsabilité de l'exploitant, les victimes sont indemnisées par l'Etat, dans les conditions et limites fixées par la Convention complémentaire de Bruxelles. En ce qui concerne les installations à usage non pacifique, les victimes qui eussent été fondées à se prévaloir de la Convention de Bruxelles s'il s'agissait d'une installation à usage pacifique sont indemnisées par l'Etat sans que la réparation globale des dommages puisse excéder "1,5 milliard d'euros" par accident.

Article 6
L'exploitant devra dénoncer à l'agent judiciaire du Trésor toute demande d'indemnisation des victimes.

Article 7
Chaque exploitant est tenu d'avoir et de maintenir une assurance ou une autre garantie financière à concurrence, par accident, du montant de sa responsabilité. La garantie financière devra être agréée par le ministre de l'économie et des finances. Le ministre de l'économie et des finances, sur proposition du ministre chargé de l'énergie atomique, est habilité à donner aux exploitants d'installations nucléaires la garantie de l'Etat, qui se substituera en tout ou en partie à une assurance ou à une autre garantie financière. L'assureur ou toute autre personne ayant accordé une aide financière ne peut suspendre l'assurance ou la garantie financière prévue au présent article, ou y mettre fin, sans un préavis de deux mois au moins donné par écrit au ministre chargé de l'énergie atomique.

Article 8
Si les victimes d'un accident nucléaire ne peuvent obtenir de l'assureur, du garant financier ou de l'exploitant, réparation de leurs dommages, la charge de celle-ci est subsidiairement supportée par l'Etat à concurrence du montant fixé à l'article 4 ci-dessus et sans préjudice de l'application de l'article 5.

Article 9 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 5 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
Sous réserve des dispositions de l'article 9-2, le montant maximum de la responsabilité de l'exploitant en cas de transport de substances nucléaires est fixé à "80 millions d'euros" pour un même accident nucléaire.

Article 9-1 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 6)
Pour tout transport de substances nucléaires effectué entre le territoire de la République française et celui d'un Etat dans lequel la convention de Bruxelles n'est pas en vigueur, l'exploitant de l'installation nucléaire située sur le territoire de la République française qui expédie ou qui reçoit lesdites substances assume, conformément aux dispositions de la présente loi, la responsabilité des accidents nucléaires survenant au cours du transport sur le territoire de la République française.

Article 9-2 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 7 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
Pour effectuer un transport de substances nucléaires en transit sur le territoire de la République française, le transporteur doit justifier d'une assurance ou d'une garantie financière équivalente couvrant les dommages qui pourraient être causés par un accident nucléaire au cours du transport, à concurrence du montant fixé à l'article 9, s'il s'agit d'un transport régi par la convention de Paris, et de "1,2 milliard d'euros" dans les autres cas.

Article 9-3 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 8 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)

Pour un transport international non couvert par la convention de Paris, le transporteur doit justifier de l'existence d'une garantie financière par la production d'un certificat émanant de l'assureur ou de toute autre personne ayant fourni la garantie financière équivalente et énonçant le nom de l'assureur ou du garant, son adresse ainsi que le montant, le type et la durée de la garantie. Ce certificat doit aussi désigner les substances nucléaires et l'itinéraire couverts par la garantie.
Lorsque le transport international entre dans le champ d'application de la convention de Paris, le certificat est établi conformément "au d de l'article 4" de cette convention.
Un arrêté conjoint du ministre chargé de l'énergie atomique et du ministre chargé des transports fixe les modèles de certificats.

Article 10
En ce qui concerne les dommages corporels, un décret pris sur le rapport du ministre chargé de l'énergie atomique et du ministre des affaires sociales établira, en fonction de l'irradiation et de la contamination reçues et du délai dans lequel l'affection a été constatée, une liste non limitative des affections qui, sauf preuve contraire, sont présumées avoir pour origine l'accident.

Article 11
Les indemnités provisionnelles ou définitives effectivement versées aux victimes ne peuvent donner lieu à répétition en raison des limitations de responsabilités et de garanties prévues aux articles 4 et 5 ci-dessus.

Article 12 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 13)
1er alinéa abrogé.
Toutefois, le montant total des indemnités versées par l'Etat ne saurait être supérieur au montant des sommes que celui-ci aurait eu a supporter par application des articles 3 et 12 de la Convention complémentaire de Bruxelles, dans le cas d'un accident qui aurait entraîné des dommages atteignant 600 millions de francs.

Article 13 (Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, articl e 55)
Si, à la suite d'un accident nucléaire, il apparaît que les sommes maximales disponibles en application de la présente loi risquent d'être insuffisantes pour réparer l'ensemble des dommages subis par les victimes, un décret en conseil des ministres, publié dans un délai de six mois à compter du jour de l'accident, constate cette situation exceptionnelle et fixe les modalités de répartition des sommes visées aux articles 4 et 5 ci-dessus.
Ce décret peut notamment définir des mesures de contrôle particulières auxquelles devra se soumettre la population pour déterminer les personnes qui ont pu avoir subi un dommage et peut fixer, eu égard à l'insuffisance des sommes mentionnées à l'alinéa précédent et à la priorité inscrite ci-dessous, les règles de calcul des indemnités susceptibles d'être allouées à chaque victime en réparation des dommages corporels ou matériels.
Dans ce cas, les sommes disponibles prévues par la présente loi sont réparties selon les règles suivantes :
a) Les dommages corporels sont réparés par priorité suivant des modalités déterminées par analogie avec la législation sur les accidents du travail;
b) Les sommes qui restent disponibles, le cas échéant, après cette première indemnisation, sont réparties entre les victimes proportionnellement aux dommages corporels restant à indemniser et "aux autres dommages nucléaires subis", évalués selon les règles du droit commun.

Article 13-1 (Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, arti cle 55)
"Si l'exploitant responsable d'un dommage nucléaire prouve que ce dommage résulte, en totalité ou en partie, d'une négligence grave de la personne qui l'a subi ou que cette personne a agi ou omis d'agir dans l'intention de causer un dommage, cet exploitant est exonéré, dans une mesure appréciée par le juge en fonction de la gravité de la faute ou de la négligence de cette personne, de l'obligation de réparer le dommage subi par ladite personne".

Article 14
La victime d'un dommage peut agir directement contre l'assureur de l'exploitant responsable ou contre toute personne ayant accordé sa garantie financière. Celui qui a indemnisé les victimes dispose des droits de recours reconnus à l'exploitant par les conventions visées à l'article 1er ci-dessus. Dans ce cas, l'Etat est remboursé par priorité des fonds qu'il aura été amené à verser.

Article 15 (Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, articl e 55)
Les actions en réparation se prescrivent par trois ans, soit à compter du moment où la victime a eu connaissance du dommage et de l'exploitant responsable, soit à compter du moment où elle a dû raisonnablement en avoir connaissance ; "elles ne peuvent toutefois être intentées après l'expiration des délais de prescription et de déchéance prévus par le a de l'article 8 de la convention de Paris précitée".
Lorsque l'accident est survenu sur le territoire de la République française et si la Convention de Paris donne compétence à un tribunal français, l'Etat assure en outre l'indemnisation des dommages « nucléaires autres que ceux aux personnes » dont la réparation n'a pu être demandée parce que le dommage n'est apparu qu'après un délai de dix ans à compter du jour de l'accident. Le montant total des indemnités allouées à quelque titre que ce soit ne pourra, même dans ce cas, dépasser le montant d'indemnisation maximum prévu par la présente loi. L'action en réparation contre l'Etat devra être introduite dans un délai maximum de cinq ans après l'expiration de celui de dix ans fixé à « visé précédemment ».

Article 16
La présente loi ne déroge pas aux règles établies par les législations relatives aux assurances sociales et à la réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles, et par les législations de même objet, particulières à certaines catégories professionnelles, notamment en ce qui concerne les recours.
Dans tous les cas autres que celui où la victime, étant au service de l'exploitant lors de l'accident nucléaire, a été indemnisée au titre d'un accident du travail ou de service proprement dit ou d'une maladie professionnelle, les recours sont exercés contre l'exploitant, son assureur ou les personnes lui fournissant une garantie.
Si la victime était au service de l'exploitant lors de l'accident nucléaire et a été indemnisée au titre d'un accident du travail ou de service proprement dit, ou d'une maladie professionnelle, et si ledit accident a été causé par une personne autre que l'exploitant ou ses préposés, la victime et l'organisme qui lui a versé les prestations sociales exercent contre l'exploitant le recours dont ils disposent contre l'auteur de l'accident.
Les recours s'exercent dans les limites et dans les conditions prévues aux articles 4 et 5 ci-dessus.

Article 17 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 9 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
"Pour l'application de la présente loi, lorsque l'accident nucléaire est survenu sur le territoire de la République française ou si, en application de la convention de Paris, compétence est attribuée à un tribunal français, le tribunal de grande instance de Paris est seul compétent.
Toutefois, le procureur de la République et le juge d'instruction du tribunal dans le ressort duquel a eu lieu l'accident nucléaire ont qualité pour accomplir les actes nécessités par l'urgence. Ces actes sont transmis au tribunal de grande instance de Paris."
En aucun cas, la juridiction répressive, éventuellement saisie, ne peut statuer sur l'action civile.
« Les personnes ayant subi des dommages nucléaires peuvent faire valoir leurs droits à réparation sans avoir à entamer des procédures différentes selon l'origine des fonds. »

Article 18 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 10)
I. Sera puni d'un emprisonnement de deux mois à cinq ans et d'une amende de 100 000 F à 1 000 000 F, ou de l'une de ces deux peines seulement, quiconque ne respectera pas l'obligation d'avoir et de maintenir une assurance ou une autre garantie financière, prévue aux articles 7 et 9-2 ci-dessus.
Sera puni d'un emprisonnement de deux mois à un an et d'une amende de 10 000 F à 100 000 F, ou de l'une de ces deux peines seulement, quiconque ne pourra produire le certificat prévu à l'article 9-3 ci-dessus.
II. S'il est constaté par procès-verbal que l'exploitant ou le transporteur ne peut fournir la justification de l'assurance ou de la garantie financière prévue aux articles 7, 9-2 et 9-3 ci-dessus, l'autorité administrative compétente pourra suspendre le fonctionnement de l'installation ou l'exécution du transport jusqu'à production de la justification exigée.
En cas de suspension du fonctionnement de l'installation ou de l'exécution du transport, toutes mesures peuvent être prises par l'autorité administrative compétente aux frais de l'exploitant ou du transporteur pour assurer la sécurité des personnes et des biens.

Article 19
Les dispositions de la présente loi excluent l'application des règles particulières relatives à la prescription des créances sur l'Etat, les départements, les communes et les établissements publics.

Article 20 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 11)
La présente loi est applicable aux territoires d'outre-mer et à la collectivité territoriale de Mayotte.

Article 21 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 13)
Abrogé.

Article 22 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 12 et Loi n°2006-686 du 13 juin 2006, article 55)
"En cas d'expiration de la convention de Bruxelles ou de sa dénonciation par la France, l'indemnisation complémentaire de l'Etat prévue au premier alinéa de l'article 5 ne joue, à concurrence de 800 millions d'euros, que pour les dommages subis sur le territoire de la République française. Il en est de même, le cas échéant, dans la période qui s'écoule entre l'entrée en vigueur du protocole portant modification de la convention de Paris et celle du protocole portant modification de la convention de Bruxelles".

Article 23
Les dispositions de la présente loi deviendront caduques dans leur ensemble le jour où la Convention de Paris prendra fin, soit par dénonciation, soit du fait de son expiration.

Article 24 (Loi n°90-488 du 16 juin 1990, article 13)
Abrogé.

Annexe 5

Soit le changement de variable $X \equiv a+b.lnY$.

La fonction de répartition de Y est G telle que :

$G(y) = P(Y < y)$

$G(y) = P(\ln Y > \ln y)$ puisque la fonction ln est croissante sur $\Re^{+*}$

$G(y) = P(b\ln Y < b\ln y)$ si $b > 0$

$G(y) = P(a+b\ln Y < a+b\ln y)$ si $b > 0$ avec $a \in \Re$

$G(y) = P(X < a + b\ln y)$

$G(y) = F(a + b\ln y)$

$$G(y) = \frac{1}{(1+e^{-(a+b\ln y)})}$$

D'où $g(y) = G'(y) = \frac{b}{y} \cdot \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}$

<u>En revanche, si $b < 0$</u> :

$G(y) = P(b\ln Y > b\ln y)$ si $b < 0$

$G(y) = P(a+b\ln Y > a+b\ln y)$ si $b < 0$ avec $a \in \Re$

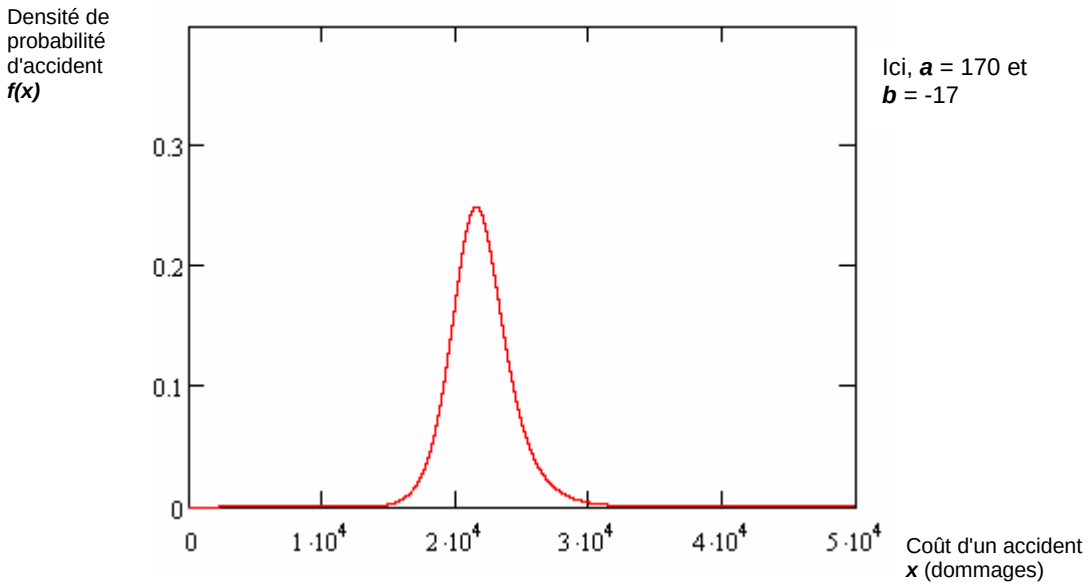
$G(y) = P(X > a + b\ln y)$

$G(y) = 1-F(a + b\ln y)$

$$G(y) = 1- \frac{1}{(1+e^{-(a+b\ln y)})}$$

D'où $g(y) = G'(y) = -\frac{b}{y} \cdot \frac{e^{-(a+b\ln y)}}{(1+e^{-(a+b\ln y)})^2}$

Dans ce cas, $g(y)$ est de la forme suivante :



Annexe 6

Les primes d'assurance individuelles pour couvrir 10 milliards € sont calculées à partir de l'équation suivante (sur la base de l'extrapolation de la prime actuelle française) :

$$P = \frac{(6.4/58)\cdot 10000}{31} = 37{,}3 \text{ millions € par réacteur par an.}$$

Tel que le tableau suivant le montre, selon le nombre de réacteurs qu'ils exploitent, les exploitants subiraient un coût d'assurance plus ou moins élevés.

Pays Membres	Exploitants nucléaires (Nombre de réacteurs)	Prime d'assurance individuelle (par an)	Coût des réserves de propre assureur (par an)	
			k_{cp} = 8,6%	k_{cp} = 13%
Allemagne	RWE (2)	74,6	240,83	248,15
	EON (5)	186,5	240,92	248,2
	KKW B (1)	37,3	240,8	248,1
	KKW L (1)	37,3	240,8	248,1
	KKW *G* (1)	37,3	240,8	248,1
	KKW *G*r (2)	74,6	240,83	248,15
	KKW K. (1)	37,3	240,8	248,1
	EnBW (4)	149,2	240,89	248,19
Belgique	Electrabel NP (7)	261,1	240,97	248,25
Espagne	ANAV (3)	111,9	240,86	248,17
	CNAT (3)	111,9	240,86	248,17
	Iberdrola (1)	37,3	240,8	248,1
	Nuclenor (1)	37,3	240,8	248,1
Finlande	Fortum (2)	74,6	240,83	248,15
	TVO (2)	74,6	240,83	248,15
France	EDF (58)	2163,4	242,4	249,2
Hongrie	PACKS (4)	149,2	240,89	248,19
Lituanie	INPP (1)	37,3	240,8	248,1
Pays-Bas	EPZ (1)	37,3	240,8	248,1
Rép. Tchèque	CEZ (6)	223,8	240,95	248,23
Royaume-Uni	BE (15)	559,5	241,2	248,4
	BNFL (4)	149,2	240,89	248,19
Slovaquie	EBO (1)	37,3	240,8	248,1
	SE (4)	149,2	240,89	248,19
Slovénie	NEK (1)	37,3	240,8	248,1
Suède	Forsmark (3)	111,9	240,86	248,17
	OKG (3)	111,9	240,86	248,17
	Rhingals (4)	149,2	240,89	248,19
Total	28 (141)	5259,3	6745,65	6949,51

Primes d'assurance et coûts des réserves des exploitants européens pour couvrir individuellement 10 milliards €

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE....1

INTRODUCTION GENERALE....3

PREMIERE PARTIE.

LE DEFAUT D'INTERNALISATION DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE 21

CHAPITRE 1.

LA DOMINANCE D'UNE LOGIQUE *EX POST* : UN REGIME DE RESPONSABILITE CIVILE FAVORABLE A L'INDUSTRIE NUCLEAIRE.... 24

1. Introduction 24
2. D'une logique *ex post* à la persistance des inefficacités 26
   2.1. La dominance de l'ex post 27
      2.1.1. Les Conventions de première génération : des principes de RC spécifiques . 27
         2.1.1.1. La Convention de Paris : de fortes restrictions à la responsabilité 28
         2.1.1.2. La Convention de Bruxelles : une plus large indemnisation 43
         2.1.1.3. La Convention de Vienne : une vocation plus internationale 46
      2.1.2. Les limites des Conventions de première génération : l'inefficacité statique 47
         2.1.2.1. La dissuasion par la canalisation 49
         2.1.2.2. La limite de RC : une protection industrielle illégitime ? 51
   2.2. Les révisions successives du régime de RCN : vers une logique ex ante ? 55
      2.2.1. Les Conventions de deuxième génération : les avancées 56
         2.2.1.1. Les révisions des Conventions de Paris et de Bruxelles 56
         2.2.1.2. L'harmonisation des régimes de RCN 61
      2.2.2. Des révisions insuffisantes : l'inadaptabilité dynamique 64
         2.2.2.1. La persistance des inefficacités ex ante 64
         2.2.2.2. Un défaut d'indemnisation 66
3. L'assurabilité du risque nucléaire : à la frontière de l'Etat et du marché 68
   3.1. Le risque nucléaire : un risque inassurable ? 68
      3.1.1. Un risque empreint d'incertitudes 68
         3.1.1.1. L'univers décisionnel de l'imprévisible : entre risque et incertitude 69
         3.1.1.2. Les incertitudes exogènes et endogènes au risque nucléaire 72
      3.1.2. La mesure du risque nucléaire 74
         3.1.2.1. La mesure ex ante du risque nucléaire : entre approches déterministe et probabiliste 75
         3.1.2.2. La mesure ex post du risque nucléaire : le coût d'un accident 78
      3.1.3. L'assurabilité d'un risque : principes et critères 81
         3.1.3.1. Les principes traditionnels de l'assurance 81
         3.1.3.2. L'assurabilité du risque nucléaire 84
   3.2. L'intervention de l'Etat dans la couverture du risque nucléaire 88
      3.2.1. Les frontières actuelles Etat/marché dans la couverture du risque nucléaire . 89
         3.2.1.1. Les frontières Etat/marché en Europe : l'exemple de la France 89
         3.2.1.2. Un autre modèle de coordination : le cas des Etats-Unis 95

3.2.2. Des frontières désirables? ... 98
4. Conclusion ... 102

CHAPITRE 2.

LIMITE DE RESPONSABILITE CIVILE NUCLEAIRE ET SUBVENTION IMPLICITE : LE CAS DE LA FRANCE ... 104

1. Introduction ... 104
2. La limite de RC nucléaire : une subvention implicite ... 105
2.1. Dans quelle mesure peut-on parler de subvention implicite? ... 106
2.1.1. Du plafond de RC à la subvention implicite de couverture ... 106
2.1.2. L'analyse de la littérature : vers une nouvelle grille de lecture ... 111
2.1.2.1. Les évaluations existantes : intérêt et limites ... 111
2.1.2.2. Une nouvelle grille de lecture ... 117
2.2. Une tentative d'évaluation de la subvention de RCN : le cas de la France ... 120
2.2.1. Les hypothèses du modèle d'évaluation ... 121
2.2.1.1. Le calcul de la prime d'assurance : hypothèses générales ... 122
2.2.1.2. Les autres hypothèses ... 132
2.2.2. Le modèle ... 134
2.3. Résultats de l'évaluation : interprétation et recommandations ... 139
2.3.1. Les montants de la subvention implicite de RCN pour la France ... 139
2.3.3. Une comparaison internationale ... 145
3. Les conséquences économiques de la subvention implicite de RCN ... 148
3.1. Une compétitivité artificielle de l'énergie nucléaire ? ... 149
3.1.1. Un coût de production du kWh artificiellement bas ? ... 149
3.1.2. La compétitivité de l'énergie nucléaire vis-à-vis des énergies alternatives ... 156
3.2. La nécessité de renforcer la prévention des accidents nucléaires ... 161
3.2.1. Une source endogène de prévention du risque : l'effet de réputation ... 162
3.2.2. Une source exogène de prévention du risque : la réglementation de sûreté ... 164
3.2.2.1. Les Autorités de sûreté nucléaire et le processus réglementaire ... 165
3.2.2.2. La complémentarité entre réglementation et RC ... 172
4. Conclusion ... 175

DEUXIEME PARTIE.

L'ORGANISATION DE LA COUVERTURE DU RISQUE NUCLEAIRE EN EUROPE ... 179

CHAPITRE 3.

UNE ANALYSE ECONOMIQUE DU MARCHE DE L'ASSURANCE NUCLEAIRE ... 183

1. Introduction ... 183
2. Marché de l'assurance et risque nucléaire : une association contre nature ? ... 184
2.1. L'assurance nucléaire actuelle : une solution de marché ? ... 185
2.1.1. L'organisation du marché de l'assurance en France ... 185

2.1.2. Le marché de l'assurance nucléaire : de l'exclusion à la concentration..... 188
2.1.2.1. Une offre assurancielle très concentrée..... 188
2.1.2.2. Le marché de l'assurance nucléaire français 197
2.1.3. Un marché de l'assurance non-concurrentiel : un protection inefficace..... 200
2.1.3.1. Le marché de l'assurance : une exception au droit de la concurrence... 200
2.1.3.2. Une exemption inefficace..... 204
2.2. Une assurance coûteuse : l'exemple de la France..... 209
2.2.1. Le calcul de la prime d'assurance nucléaire : une boîte noire ? 209
2.2.1.1. Le calcul de la prime actuarielle : une valeur objective du risque faible 210
2.2.1.2. Le calcul de la prime commerciale : un coût de couverture élevé 214
2.2.2. Une prime monopolistique excessive ?..... 216
2.2.3. Risque non diversifiable et prime excessive : le prix à payer ? 219
3. Le financement des Protocoles de 2004 : vers une nouvelle combinaison assurancielle en France ? 221
3.1. Le coût des réserves de l'exploitant nucléaire français 222
3.1.1. Les réserves de propre assureur : des exigences comptables strictes..... 223
3.1.2. Les réserves de propre assureur : une auto-assurance coûteuse..... 227
3.2. La couverture du nouveau plafond de RCN : un défi assuranciel..... 233
3.2.1. L'évolution du coût de couverture du nouveau plafond de RCN pour EDF 234
3.2.2. Quelle nouvelle combinaison (réserves ; assurance) pour EDF ?..... 237
4. Conclusion..... 239

CHAPITRE 4.

UN *RISK-SHARING* EUROPEEN : UNE ALTERNATIVE A LA COUVERTURE ACTUELLE DU RISQUE NUCLEAIRE 242

1. Introduction 242
2. Une alternative à l'assurance nucléaire : sur la voie du *Risk-sharing* 243
2.1. Une typologie des alternatives à la couverture des risques catastrophiques..... 244
2.1.1. Les solutions alternatives : l'offre des marchés financiers 246
2.1.1.1. La titrisation du risque de catastrophes naturelles 246
2.1.1.2. La titrisation : une piste pour la couverture du risque nucléaire ? 250
2.1.2. Les structures alternatives : mutualité et partage du risque 252
2.1.2.1. Les captives ou l'auto-assurance 253
2.1.2.2. Les accords de partage de risque : une solution à l'insolvabilité..... 256
2.1.2.3. Quels enseignements pour la couverture du risque nucléaire ?..... 270
2.2. Assurance vs. Risk-sharing 273
2.2.1. L'avantage informationnel du *risk-sharing* 273
2.2.2. Le *risk-sharing* : un meilleur contrôle des membres..... 275
2.2.3. L'avantage coût du *risk-sharing* 276
3. Un partage horizontal du risque entre exploitants nucléaires européens 278
3.1. Le fonctionnement du *risk-sharing* nucléaire européen..... 280
3.1.1. Le *Price-Anderson Act* : un modèle pour l'Europe ?..... 280
3.1.2. Vers une responsabilité collective de l'industrie nucléaire européenne 285
3.1.2.1. Pourquoi un *risk-sharin*g nucléaire à l'échelle européenne ?..... 285
3.1.2.2. Les hypothèses du modèle de *risk-sharing* nucléaire européen..... 287
3.2. Les contributions des exploitants au *risk-sharing* : quel financement ? 296

3.2.1. Les contributions versées *ex ante* 297
3.2.2. Les contributions réservées *ex ante* 299
3.2.3. Les contributions rétrospectives 301
3.2.4. Les contributions de chaque exploitant : proportionnalité au risque et coût 305
3.3. Les conditions de faisabilité d'un *risk-sharing* nucléaire européen 310
3.3.1. Conséquences juridiques : de nouveaux amendements aux Conventions.... 310
3.3.2. La redéfinition du rôle de l'Etat : de l'assistance à la régulation 311
3.3.3. Les conditions de mise en place : les obstacles institutionnels et politiques 313
4. Conclusion 316

CONCLUSION GENERALE 320
BIBLIOGRAPHIE 325
LISTE DES ACRONYMES ET ABBREVIATIONS 342
ANNEXES 344