



## Document de travail

---

### **FRAGMENTER UNE ACTIVITÉ À RISQUE**

**N° 2007-19**

**Juillet 2007**

**Gérard MONDELLO**  
*UNSA – CNRS*

**Evens SALIES**  
*OFCE*

**Observatoire Français des Conjonctures Économiques**

69, Quai d'Orsay 75340 Paris Cedex 07

Tel : 01 44 18 54 00 - Fax : 01 45 55 06 15

E-mail: [ofce@ofce.sciences-po.fr](mailto:ofce@ofce.sciences-po.fr) - Web: <http://www.ofce.sciences-po.fr>

# Fragmenter une activité à risque\*

Gérard MONDELLO<sup>†</sup>, Evens SALIES<sup>‡</sup>

31 juillet 2007

## Première Version

### Résumé

La libéralisation de l'activité économique d'un secteur peut conduire à céder des actifs des entreprises historiques à de nouveaux entrants. Dans cet article, nous montrons que lorsqu'il s'agit d'une activité à risque, le gain de la fragmentation de cette activité ne peut être évalué sans prendre en compte l'impact en termes de sûreté. Pour cela, nous utilisons le concept de dominance stochastique que nous appliquons à la comparaison des coûts espérés, avant et après fragmentation. Les résultats obtenus sont mis en perspective à partir d'une application à la production d'électricité d'origine nucléaire.

*Mots clés* : coûts espérés, sûreté, sous-additivité, énergie électrique.

*Codes du JEL* : D81, L94, Q54.

---

\* Nous remercions les participants au séminaire du Groupe de Recherche en Économie, Droit Et Gestion de l'Université de Nice (Sophia Antipolis). Notre gratitude va plus particulièrement à Christophe Charlier et Jean-Luc Gaffard pour leurs commentaires critiques. Cet article a bénéficié également des remarques de Karine Chakir, Benoit Masquin, Nathalie Mondello et Victor Dos Santos-Paulino. Les auteurs restent les seuls responsables de toute erreur résiduelle ainsi que des opinions défendues dans cet article.

† Université de Nice (Sophia Antipolis) – Centre National de la Recherche Scientifique, 250, rue Albert Einstein, 06560 Valbonne. Tel. : 04.93.95.43.27, e-mail : [gerard.mondello@gredeg.cnrs.fr](mailto:gerard.mondello@gredeg.cnrs.fr).

‡ Observatoire Français des Conjonctures Économiques (Centre de Recherche en Économie de Sciences-Po), 250, rue Albert Einstein, 06560 Valbonne. Tel. : 04.93.95.41.52, e-mail : [evens.salies@ofce.sciences-po.fr](mailto:evens.salies@ofce.sciences-po.fr).

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Le modèle</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Coût et fragmentation des actifs du monopole</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Le domaine d'étude : un parc nucléaire</b>	<b>13</b>
4.1	La perspective d'analyse . . . . .	14
4.2	Maîtrise des coûts de sûreté et fragmentation . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>16</b>

*“La production ne constitue pas...un monopole naturel...  
Mais la gestion d’un parc de centrales nucléaires gagne à  
relever d’une autorité unique pour exclure de la compétition  
le respect des règles de sûreté, veiller à une normalisation  
suffisante des unités de production, former un personnel  
interchangeable d’une centrale à l’autre...”*  
M. Boiteux, *“L’électricité entre concurrence et monopole”*,  
*Économie Publique*, 14(1), 2004 : 3–10.

## 1 Introduction

Les activités économiques des industries de réseaux sont soumises à des risques spécifiques d’exploitation et environnementaux. On peut citer l’encombrement des réseaux, les ruptures de service (coupure d’électricité), les faillites en chaîne (British Energy, Air Littoral). Cette particularité découle de la nature même de ces industries caractérisées par de hauts degrés d’intégration verticale et horizontale ainsi que la génération d’externalités positives et négatives. Par ailleurs ces industries connaissent depuis une vingtaine d’années un processus de libéralisation qui consiste à céder au marché certaines activités. On peut alors se demander si ce processus est susceptible de conduire à accentuer les risques évoqués. L’enjeu est d’importance. En effet, depuis une trentaine d’années, notamment depuis l’accident de Three Mile Island en 1979 aux États-Unis d’Amérique, la sécurité devient une préoccupation majeure. Dans la décision de céder une activité à risque devraient être considérés non seulement les coûts de prévention des risques mais aussi leur fréquence. Par la suite, pour éviter toute interprétation ambiguë, on préférera le terme de ‘fragmentation’ d’une activité. On entend par fragmentation la cession d’une partie des actifs d’une entreprise à de nouveaux entrants.

Cette analyse s’inscrit dans la suite des travaux de Baumol, Bailey et Willig (1977). Elle considère le rôle déterminant des propriétés des fonctions de coût dans la décision de fragmenter en intégrant l’incertitude. Les décisions de production et d’investissement d’une entreprise installée qui réalise des économies d’échelle dans un jeu de duopole est considéré par Appelbaum et Lim (1985). Contrairement à ces deux auteurs, l’incertitude dans notre modèle porte sur les coûts et non sur la demande, et l’arrivée d’un nouvel entrant ne résulte pas d’une interaction stratégique entre les entreprises. Dans notre modèle, cette décision appartiendra à une autorité de régulation. Mondello (2003) compare le coût espéré d’une activité de production pou-

vant entraîner un dommage et réalisée par un monopole par rapport au coût lorsque cette activité est réalisée par plusieurs entreprises.<sup>1</sup> Dans le présent article, nous considérons plus de deux états de la nature. Les coûts d'exploitation de ceux de prévention des risques sont séparés mais leurs niveaux, après fragmentation, sont néanmoins liés par la distribution des fréquences de ces états.

Afin de comparer les deux situations (sans et avec fragmentation), nous adoptons le concept de dominance stochastique à la Hadar et Russell (1969).<sup>2</sup> Cela signifie que, dans le cas présent, la décision de fragmenter ou pas une activité peut être prise en comparant les fréquences relatives des coûts sur l'ensemble des états de la nature. Un des intérêts de cette approche est que nous n'avons pas besoin de spécifier pleinement les distributions des fréquences. Nous introduisons les différents états de la nature, et donc les niveaux de risque, en nous inspirant des études probabilistes de sûreté (EPS par la suite).<sup>3</sup> La caractéristique des EPS est de privilégier l'enchaînement d'un petit nombre d'évènements, des plus anodins aux plus graves. La prise en compte de cet enchaînement dans le modèle économique permet de définir le lien entre niveaux de risques et coûts de prévention de ces risques.

Un des résultats importants du présent article montre que la sous-additivité de la fonction de coût dans l'activité d'exploitation n'est plus une condition suffisante à la non-fragmentation. À côté de ces coûts, il faut considérer ceux de prévention des risques que l'entrant peut être tenté de diminuer. Les autorités de régulation doivent privilégier la structure industrielle correspondant à un coût plus faible, mais aussi s'assurer que la nouvelle distribution des fréquences (après fragmentation) ne rend pas plus probable un accident. Nous montrerons que cette décision dépend largement du niveau des coûts de prévention des risques par rapport à ceux des dommages. L'autorité fait donc face à un vrai dilemme puisque incidents et accidents sont positivement corrélés. Par exemple nous pouvons évoquer le cas des secteurs de la chimie, de l'énergie électronucléaire, etc. Nous retiendrons le choix de la production

---

1. L'auteur considère deux états de la nature et montre que lorsque la fonction de coût est sous-additive, le coût espéré (dommage inclu) peut être moins élevé avec le monopole seulement si la probabilité d'occurrence de la pollution satisfait certaines conditions.

2. Levy (1992) propose une revue exhaustive.

3. Les EPS sont une méthode d'évaluation des risques fondée sur une investigation systématique des *scenarii* accidentels. Elles se composent d'un ensemble d'analyses techniques permettant de calculer les fréquences – théoriques – d'événements redoutés et leurs conséquences. On obtient ainsi une appréciation globale du niveau de sûreté qui intègre fiabilité des équipements et comportements des opérateurs.

électronucléaire car, elle permet d'apprécier les enjeux économiques de fragmenter une activité associée à un risque majeur à la fois très important mais peu probable.

Les liens entre restructuration du secteur de l'énergie électrique en réponse à la dérégulation et sécurité nucléaire ont déjà été étudiés par Bier et *alii* (2001) pour le cas des États-Unis d'Amérique et de la Grande-Bretagne. Leurs résultats convergent avec ceux de Roux-Dufort et Metais (1998) qui, pour le cas d'Électricité de France (EDF), montrent que la situation d'un parc concentré peut être préférable sur le plan de la fiabilité. De nombreux pays ont choisi de ne pas obliger leurs exploitants à céder leurs actifs de production d'électricité d'origine nucléaire (EDF en France, Electrabel en Belgique, etc.). La question du degré de concentration du parc nucléaire mérite alors d'être posée à l'échelle de l'Europe, d'autant plus que les différents États membres appliquent des règles communes de fonctionnement des marchés de l'énergie et de sûreté. Cette question est aussi pertinente car si un accident nucléaire devait avoir lieu, il pourrait difficilement être confiné aux frontières d'un seul pays.

Dans la section 2 nous introduisons le modèle où nous relierons les coûts aux états de la nature pour les situations avant et après fragmentation. Nous poserons le problème des conditions nécessaires à la fragmentation dans la section 3. Pour cela, nous utilisons le concept de dominance stochastique que nous appliquons à la comparaison des coûts espérés, avant et après fragmentation. Nous traitons du cas standard où seules les fréquences varient, puis celui où fréquences et coûts peuvent varier. Pour illustrer cette démarche théorique, notre analyse sera illustrée par le cas emblématique d'un parc nucléaire dans une section 4.

## 2 Le modèle

Nous considérons une activité de production risquée réalisée par une entreprise en situation de monopole naturel.<sup>4</sup> Celle-ci gère deux installations parfaitement identiques. La notion de risque suppose que l'activité peut engendrer des dommages d'amplitudes différentes : incidents insignifiants, incidents et accidents.

---

4. La situation de monopole naturel n'est qu'une commodité d'exposition. On pourrait tout aussi bien considérer un oligopole naturel dont on choisirait soit de concentrer d'avantage les activités, soit de les déconcentrer.

### *L'arbre des événements*

Les niveaux de risque correspondent à un ensemble d'événements échelonnés suivant leur gravité sur une échelle numérotée de 1 à 2. Un événement de niveau 1 correspond à un incident circonscrit à l'intérieur de l'installation. Un événement de niveau 2 correspond à un accident qui dépasse l'enceinte de l'entreprise et engendre une catastrophe pour la santé et l'environnement. Cette situation correspond à la notion d'Accident Majeur de Référence (AMR par la suite). Dans notre approche, sans méconnaître l'importance des divers types d'incidents, nous nous focalisons sur ceux susceptibles de déclencher un AMR, ce qui explique notre échelle restreinte. Pour chaque installation du monopole, nous considérons  $a_i$  l'événement "l'installation subit un événement de niveau  $i$ " et  $\bar{a}_i$  l'événement "l'installation ne subit pas d'événement de niveau  $i$ ", où  $i = 1, 2$ . L'arbre des événements pour une installation donnée peut être décrit par l'ensemble

$$\{\{\bar{a}_1, \bar{a}_2\}, \{a_1, a_2\}, \{a_1, \bar{a}_2\}, \{\bar{a}_1, a_2\},\}$$

dont chaque élément a la signification suivante :

- $\{\bar{a}_1, \bar{a}_2\}$  correspond au fonctionnement "normal" d'une installation. L'installation peut rencontrer des anomalies mineures qui ne peuvent être qualifiées d'incidents ;
- $\{a_1, \bar{a}_2\}$  est une situation où se produit un incident confiné, bien que celui-ci puisse être grave pour le matériel ou le personnel ;
- dans la situation  $\{a_1, a_2\}$ , le contrôle ne permet pas d'éviter un AMR.

Nous supposons un lien de causalité du niveau 1 vers le niveau 2, de telle sorte que, hormis toute cause externe, un accident ne peut se produire *sui generis*. Ainsi,

- $\{\bar{a}_1, a_2\}$  qui signifie que l'AMR n'est pas lié à l'occurrence d'un incident  $a_1$  (il est par exemple induit par une cause extérieure telle qu'un attentat terroriste, cataclysme naturel, etc.) sera écartée.

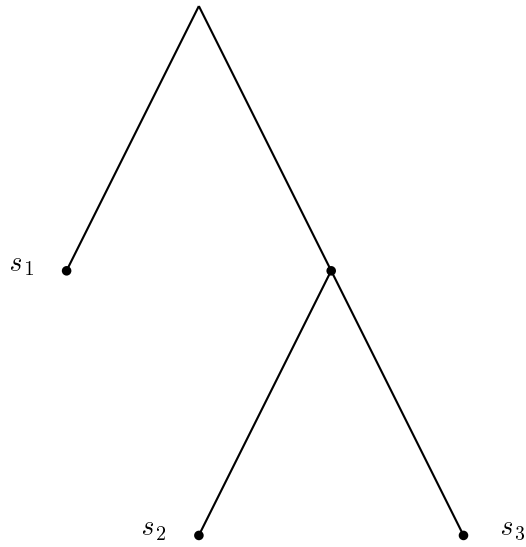
Les situations  $\{a_1, \bar{a}_2\}, \{a_1, a_2\}$  sont susceptibles d'entraîner la responsabilité civile de l'exploitant pour les dommages engendrés. En revanche, la situation  $\{\bar{a}_1, a_2\}$  n'implique pas la responsabilité de l'exploitant. Par conséquent, l'arbre des événements, pour une installation donnée, sera tracé à partir de

l'ensemble  $S$  qui comprend les éléments suivants :

$$s_1 \equiv \{\bar{a}_1, \bar{a}_2\}, s_2 \equiv \{a_1, \bar{a}_2\}, s_3 \equiv \{a_1, a_2\},$$

avec  $\{s_1, s_2, s_3\} \equiv S$ . La FIGURE 1 représente l'arbre des séquences.

FIG. 1 – *L'arbre des événements*



### *Les fréquences*

Puisque le monopole naturel exploite deux installations parfaitement identiques, l'arbre des événements joints résulte du produit  $S \times S \equiv \Omega$ . Ces événements notés  $\omega_k$ ,  $k = 1, \dots, 9$  dépendent des états de la nature. Selon le contexte, ils seront aussi notés  $(s_l, s_m)$ , avec  $l, m = 1, 2, 3$ . Notons que parce que l'arbre exclut les atteintes extérieures aux installations, les états possibles sont de neuf au lieu de 16. À chacun de ces événements  $\omega_k$  correspond une fréquence relative. Nous noterons la fréquence de l'événement  $\omega_k$  pour la situation avant fragmentation ( $t = 1$ ) ou après fragmentation ( $t = 2$ ) par  $\pi^{(t)}(\omega_k)$  (ou  $\pi^{(t)}(s_l, s_m)$ ). Par définition,  $0 < \pi^{(t)}(\omega_k) < 1$  et



$\sum_k \pi^{(t)}(\omega_k) \equiv 1$ .<sup>5</sup> Nous supposons qu'après fragmentation, l'installation 2 est cédée à l'entrant. Les distributions marginales seront notées  $\pi_1^{(2)}(\omega_k)$ ,  $k = 1, \dots, 9$  pour l'installation 1, et  $\pi_2^{(2)}(\omega_k)$ ,  $k = 1, \dots, 9$  sur l'installation 2.

*La question des coûts de prévention du point de vue du régulateur*

La structure des coûts de prévention (dommages inclus) dans une installation est étroitement corrélée à la structure des événements. Soit  $C_{ik}^{(t)}$  le coût sur l'installation  $i = 1, 2$ , dans l'état  $\omega_k = 1, \dots, 9$ , pour la situation  $t$ . Le coût espéré de prévention dans l'état  $\omega_k$  et la situation  $t$  s'écrit donc  $\pi^{(t)}(\omega_k)(C_{1k}^{(t)} + C_{2k}^{(t)})$ . Le TABLEAU 1 décrit les coûts de prévention dans les différents états de la nature ainsi que les dommages correspondants. Les états de la nature sont ordonnés dans l'ordre décroissant des fréquences, c'est-à-dire de l'état le moins risqué (les deux installations fonctionnent normalement) au plus risqué. Les coûts de prévention (hors dommage) sont ordonnés de manière non croissante afin de capturer l'idée que le niveau de sûreté est positivement corrélé aux efforts de prévention. Cependant, selon l'ampleur des dommages par rapport au coûts de prévention, deux cas sont possibles pour les coûts (dommages inclus). Soit ils sont ordonnés de manière croissante afin de souligner l'importance des dommages, soit ils sont d'allure strictement convexe.

L'installation fonctionne normalement (risques d'incident et d'accident conformes aux normes fixées par l'autorité de régulation de la sûreté) lorsque l'exploitant supporte les coûts  $c_{i1}$ . Ces coûts s'ajoutent à un coût de maintenance qui est présent dans tous les états de la nature mais qui n'apparaît pas ici car nous l'avons normalisé à zéro. Cette dépense diminue la probabilité d'occurrence d'un événement initiateur au niveau requis par l'autorité de contrôle. Ces coûts peuvent très bien s'apparenter à des efforts ou au temps nécessaire à prévenir un risque. À partir de l'état  $\omega_5$  jusqu'à  $\omega_9$ , nous voyons que malgré la mobilisation des coûts de prévention de niveau  $c_1$  et  $c_2$ , un AMR pourrait se produire sur au moins une des installations. Ainsi, en dehors du fonctionnement normal, un incident peut apparaître et produire soit un dommage  $d_1$  (états  $\omega_1$  à  $\omega_4$ ), soit un dommage supplémentaire  $d_2$  en cas de l'évolution vers l'accident (états  $\omega_5$  à

---

5. Par définition, la fréquence théorique de l'événement correspondant au moins à un AMR d'origine externe est supposée égale à zéro.

TAB. 1 – *Tableau des événements et coûts correspondants*<sup>a</sup>

$\omega_k$	Installation		Coût				Dommage			
	1	2	$c_{11}$	$c_{12}$	$c_{21}$	$c_{22}$	$d_1$	$d_2$	$d_1$	$d_2$
1	$s_1$	$s_1$	1	0	1	0	0	0	0	0
2	$s_1$	$s_2$	1	0	1	1	0	0	1	0
3	$s_2$	$s_1$	1	1	1	0	1	0	0	0
4	$s_2$	$s_2$	1	1	1	1	1	0	1	0
5	$s_1$	$s_3$	1	0	1	1	0	0	1	1
6	$s_3$	$s_1$	1	1	1	0	1	1	0	0
7	$s_2$	$s_3$	1	1	1	1	1	0	1	1
8	$s_3$	$s_2$	1	1	1	1	1	1	1	0
9	$s_3$	$s_3$	1	1	1	1	1	1	1	1

<sup>a</sup>.  $s_1 \equiv \{\bar{a}_1, \bar{a}_2\}$  (fonctionnement normal),  $s_2 \equiv \{a_1, \bar{a}_2\}$  (incident),  $s_3 \equiv \{a_1, a_2\}$  (accident).

$\omega_9$ ). Dans l'état  $\omega_3$ , par exemple, nous pouvons voir à partir du TABLEAU 1 que le coût espéré de prévention sur l'ensemble des installations, après fragmentation, est  $\pi^{(2)}(\omega_3)(C_{13}^{(2)} + C_{23}^{(2)}) = \pi^{(2)}(\omega_3)(c_{11} + c_{12} + c_{21} + d_1)$ . Sans fragmentation, puisque le monopole possède les deux installations, alors  $c_{11} \equiv c_{21}$  et  $c_{12} \equiv c_{22}$ . Le coût espéré dans cette situation et cet état est  $\pi^{(1)}(\omega_3)(C_{13}^{(1)} + C_{23}^{(1)})$  qui vaut  $\pi^{(1)}(\omega_3)(2c_{11} + c_{21} + d_1)$

#### *Hypothèses du modèle*

**Hypothèse 1** (*Installations parfaitement identiques*). *Étant donné que les installations sont identiques, quelle que soit la situation  $t = 1, 2$ , alors pour le monopole  $\pi^{(1)}(s_l, s_m) = \pi^{(1)}(s_m, s_l)$  qui implique  $\pi_1^{(1)}(s_l) = \pi_2^{(1)}(s_l)$  pour tout  $l, m = 1, 2, 3$  et  $l \leq m$ . L'identité des installations implique que l'origine d'un incident est la même dans les deux installations. On peut dire alors que la distribution des fréquences du monopole résulte de retours d'expériences de sorte que tout incident ou accident dans une installation affecte la gestion de la sûreté dans l'autre. Ceci entraîne une absence d'indépendance de certains états de la nature entre les deux installations. Formellement, la fréquence relative des événements joints satisfait  $\pi^{(t)}(s_l, s_m) \neq \pi_1^{(t)}(s_l) \cdot \pi_2^{(t)}(s_m)$ .*

**Hypothèse 2** (*L'ex-monopole conserve l'installation 1*). *S'il y a fragmentation, l'ex-monopole ne change pas sa méthode de gestion de la sûreté. Ses coûts et la fréquence marginale sont les mêmes qu'en l'absence de fragmentation :  $C_{1k}^{(1)} = C_{1k}^{(2)}$ ,  $\forall k = 1, \dots, 9$  et  $\pi_1^{(1)}(s_l) = \pi_1^{(2)}(s_l)$ ,  $\forall l = 1, 2, 3$ .*

**Hypothèse 3** (*Production risquée*). *Le niveau de production dans une installation est fixé à l'unité dans les états de  $s_1$  et  $s_2$ . Il est nul dans l'état  $s_3$ . L'état de la nature ne dépend pas de l'existence d'une production positive ou nulle. En revanche, le niveau de production dépend de l'état de la nature dans lequel se trouve l'installation.*

### 3 Coût et fragmentation des actifs du monopole

Le problème pour l'autorité de régulation est de choisir entre deux projets risqués. À la différence des approches en termes de comparaison d'utilités espérées, le problème ici consiste à choisir la situation qui correspond à un coût espéré plus faible sur l'ensemble des installations, sans que cela se fasse au détriment de la sûreté. Or, la situation après fragmentation ne peut être analysée qu'au regard du niveau de sûreté de référence, celui représenté par la distribution des fréquences du monopole avant fragmentation. Le régulateur ne sachant pas quel état de la nature va se réaliser est placé dans un cadre informationnel avec incertitude. En revanche, l'information est parfaite sur les distributions des fréquences et les coûts supportés par les exploitants dans les différents états.

*Le problème du régulateur*

Les conditions de fragmentation de la production imposées par le régulateur devraient être :

- (i) une réduction du coût espéré,
- (ii) une évaluation de l'impact de la fragmentation sur la distribution des risques.

Le coût espéré pour l'ensemble des deux installations avant fragmentation est alors :

$$\sum_k \pi^{(1)}(\omega_k) [C_{1k}^{(1)} + C_{2k}^{(1)} + P(b_{1k}, b_{2k})], \quad (1)$$

où  $P(b_{1k}, b_{2k})$  est le coût joint d'exploitation du bien ou du service risqué (hors ceux de prévention) sur les deux installations,  $b_{jk}$  une indicatrice qui ne

prend la valeur 1 que dans les états pour lesquels il y a production (états  $s_1$  et  $s_2$ , cf. hypothèse 3). Nous considérons une fragmentation de la production à parts égales, avec l'installation 2 qui est cédée à un nouvel exploitant. Dans ce cas, le coût espéré est :

$$\sum_k \pi^{(2)}(\omega_k) [C_{1k}^{(2)} + P(b_{1k}, 0) + C_{2k}^{(2)} + P(0, b_{2k})], \quad (2)$$

De la comparaison de (2) et de (1), nous déduisons la décision concernant le choix de la fragmentation de l'activité à risque. Ainsi, d'après les conditions (i) et (ii) précédentes, la fragmentation n'est acceptable que si (2)  $\leq$  (1) et pourvu que la nouvelle distribution  $\pi^{(2)}$  ne conduise pas à une détérioration de la sûreté.

#### *Conditions de résolution*

Nous proposons de distinguer deux cas :

Cas 1. les coûts sont identiques avant et après fragmentation. En revanche les distributions des fréquences jointes sont variables:  $C_k \equiv C_{1k}^{(1)} + C_{2k}^{(1)} = C_{1k}^{(2)} + C_{2k}^{(2)}$  et  $P_k \equiv P(b_{1k}, b_{2k}) \equiv P(b_{1k}, 0) + P(0, b_{2k})$ ,  $\forall k = 1, \dots, 9$  ;

Cas 2. les distributions et les coûts sont variables.

**Cas 1.** L'hypothèse 2 implique que nous avons également  $C_{2k}^{(1)} = C_{2k}^{(2)}$ ,  $\forall k = 1, \dots, 9$ . La différence entre (1) et (2) conduit à étudier le signe de

$$\sum_k [\pi^{(1)}(\omega_k) - \pi^{(2)}(\omega_k)] Q_k,$$

où  $Q_k \equiv C_k + P_k$ . La condition nécessaire à la fragmentation dépend notamment du signe de  $Q_k$ .

**Proposition 1** *Sous l'hypothèse de coûts égaux entre les situations avant et après fragmentation, une condition nécessaire pour choisir la seconde situation est :*

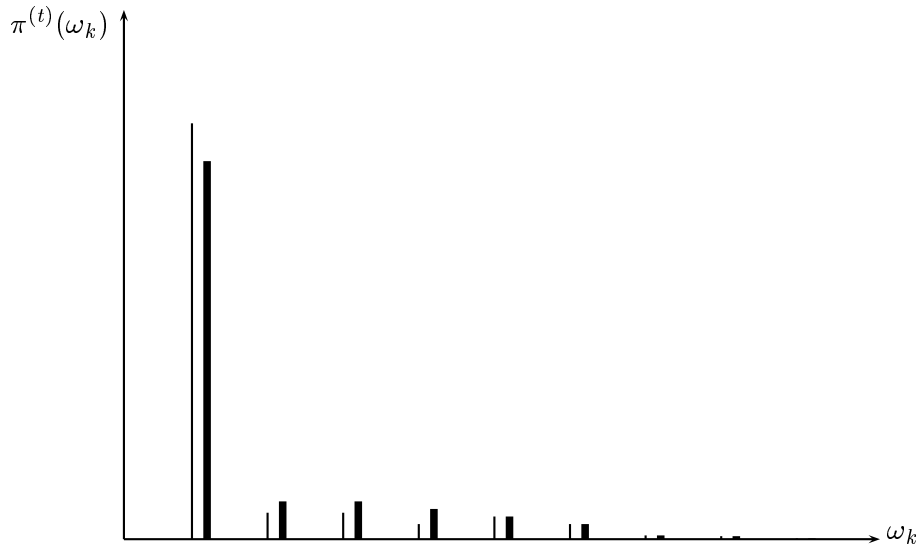
$$\sum_{l=1}^k \pi^{(2)}(\omega_l) \geq \sum_{l=1}^k \pi^{(1)}(\omega_l), \quad \forall k = 1, \dots, 9$$

si  $Q_k \equiv C_{1k}^{(1)} + C_{2k}^{(1)} + P(b_{1k}, b_{2k}) \equiv C_{1k}^{(2)} + C_{2k}^{(2)} + P(b_{1k}, 0) + P(0, b_{2k})$  est non décroissant en  $k$ .

La démonstration s’inspire du critère de comparaison de projets risqués dans les problèmes de maximisation de fonctions d’utilités espérées (Hadar et Russell, 1969). Elle figure en Annexe. Cette condition devrait être vérifiée avant toute fragmentation d’une activité qui comporte des risques importants et cela, indépendamment des considérations sur le degré de concentration de cette activité.

Cette proposition signifie que le nouvel entrant, autrement dit l’acquéreur d’une installation, doit agencer la distribution des fréquences pour diminuer le coût espéré. Autrement dit, la distribution des fréquences dans la situation avec fragmentation place plus de poids sur les états les moins risqués. La FIGURE 2 ci-dessous illustre le cas d’une violation de la condition nécessaire.

FIG. 2 – *Exemple de distribution de fréquences relatives avant et après fragmentation*



Note. La ligne fine représente la distribution avant fragmentation ( $\pi^{(1)}$ ). La ligne épaisse représente la distribution après fragmentation ( $\pi^{(2)}$ ).

Enfin, notons que la condition peut être réécrite en termes d’espérance conditionnelle. En effet,  $\pi^{(t)}(s_l, s_m) = \pi_{2|1}^{(t)}(s_m | s_l) \pi_1^{(t)}(s_l)$  pour tout  $l, m = 1, 2, 3$  et

$t = 1, 2$ . Alors pour  $l \equiv m \equiv 1$  (l'état de la nature correspondant à un fonctionnement normal des installations), la condition peut s'écrire comme suit (cf. hypothèse 1) :

$$[\pi_{2|1}^{(2)}(s_1|s_1) - \pi_{2|1}^{(1)}(s_1|s_1)]\pi_1^{(1)}(s_1) \geq 0.$$

Elle stipule qu'il y a plus de chances que l'installation 2 soit dans l'état de fonctionnement normal lorsqu'elle est exploitée par l'entrant que par le monopole, sachant que l'installation 1 est aussi dans cet état. Cette interprétation est contre-intuitive car si le monopole applique la même méthode de gestion de la sûreté sur ces deux installations (avant fragmentation) il devrait être le mieux à même de faire fonctionner l'installation 2 normalement lorsque l'installation 1 est déjà dans cet état. Ce résultat pourrait venir de l'hypothèse peu réaliste d'une identité des coûts.

**Cas 2.** Ce cas est plus proche de la réalité industrielle que le Cas 1 précédent. L'action de l'entrant peut consister à la fois à redistribuer les fréquences, mais aussi à réduire les coûts.

**Proposition 2** *Sachant que  $\forall k = 1, \dots, 9$   $\pi^{(1)}(\omega_k)C_k^{(1)} - \pi^{(2)}(\omega_k)C_k^{(2)}$  peut s'écrire comme suit :*

$$\frac{1}{2}(\pi^{(1)} - \pi^{(2)})(C_k^{(1)} + C_k^{(2)}) + \frac{1}{2}(C_k^{(1)} - C_k^{(2)})(\pi^{(1)} + \pi^{(2)}),$$

et en notant  $C_k^{(1)} \equiv C_{1k}^{(1)} + C_{2k}^{(1)} + P(b_{1k}, b_{2k})$  la somme des coûts sur l'ensemble des installations avant fragmentation dans l'état  $k$ ,  $C_k^{(2)} \equiv C_{1k}^{(2)} + C_{2k}^{(2)} + P(b_{1k}, 0) + P(0, b_{2k})$  la somme de ces coûts après, et  $C_k \equiv (C_{k+1}^{(1)} - C_k^{(1)}) + (C_{k+1}^{(2)} - C_k^{(2)})$  la variation de coûts entre les états  $k$  et  $k+1$  avant fragmentation plus cette variation après fragmentation pour  $k = 1, \dots, 8$  et  $C_9 \equiv C_9^{(1)} - C_9^{(2)}$ , alors une condition nécessaire pour que la fragmentation soit préférable est :

$$C_k \sum_{l=1}^k (\pi^{(1)}(\omega_l) - \pi^{(2)}(\omega_l)) + \pi_k \sum_{l=1}^k (C_l^{(1)} - C_l^{(2)}) \leq 0, \forall k = 1, \dots, 9,$$

où  $C_k \geq 0$  et  $\pi_k \equiv (\pi^{(1)}(\omega_{k+1}) - \pi^{(1)}(\omega_k)) + (\pi^{(2)}(\omega_{k+1}) - \pi^{(2)}(\omega_k))$  la réduction de la fréquence théorique lors du passage de l'état  $k$  à  $k+1$  avant fragmentation, plus cette réduction après.

Notons que si la condition de la proposition 1 est satisfaite, alors celle de la Proposition 2 ne l'est pas forcément. En effet, l'entrant peut augmenter les coûts de prévention de sorte que ces derniers sont supérieurs à ceux de l'ex-monopole et, ainsi  $\sum_{l=1}^k (C_l^{(1)} - C_l^{(2)}) < 0$ . Nous voyons également que s'il existe une forte sous-additivité dans les coûts d'exploitation, alors, la situation que nous venons de décrire est encore plus probable. Dans ce cas, l'entrant pourrait être incité à réduire les coûts de prévention.

Mais il est aussi possible que la condition de la proposition 2 soit satisfaite alors qu'il n'y a pas sous-additivité. Ainsi, nous pouvons très bien avoir  $P(b_{1k}, b_{2k}) > P(b_{1k}, 0) + P(0, b_{2k})$  et la condition reste satisfaite. Cette hypothèse est cependant discutable car l'ajout d'un second exploitant est susceptible de réduire le bénéfice des retours d'expériences en l'absence d'une autorité de contrôle.

Soulignons que l'introduction des coûts liés à la prévention des risques a pour effet que l'existence d'une sous-additivité dans les coût d'exploitation peut ne plus être une condition suffisante au maintien du monopole. Dit autrement, la situation avec fragmentation peut être préférable même si la fonction de coût d'exploitation prise sur l'ensemble des états de la nature est sous-additive au sens strict. Nous pouvons très bien avoir  $P(b_{1k}, b_{2k}) < P(b_{1k}, 0) + P(0, b_{2k})$  tout en ayant un coût espéré plus faible après fragmentation. La proposition 2 implique notamment qu'il faut regarder séparément les coûts d'exploitation et de prévention avant de prendre la décision d'une fragmentation.

## 4 Le domaine d'étude : un parc nucléaire

À partir des résultats précédents, cette section aborde les conditions qui permettent de concentrer ou de fragmenter un parc de producteurs d'électricité d'origine nucléaire. Par exemple, le parc nucléaire, à l'échelle de l'Europe, est éclaté entre plusieurs opérateurs. Et, la question est de savoir si le parc nucléaire européen doit faire l'objet d'un processus de concentration, ou si au contraire, il doit être fragmenté davantage. Du point de vue de la responsabilité et de la sûreté, la fragmentation d'un parc est susceptible de produire deux effets qui s'opposent. En possédant moins de centrales, les exploitants engagent moins leur responsabilité (le coût espéré de prévention et de réparation des dommages diminuerait). Mais, la fragmentation pourrait conduire à des déséconomies d'échelle ou d'envergure en ce qui concerne l'ex-

ploitation du parc.<sup>6</sup> Comme nous l'avons montré dans la section précédente, la présence de sous-additivité dans les coûts d'exploitation n'est pas suffisante pour justifier une concentration.

#### 4.1 La perspective d'analyse

Les difficultés pour traiter de questions économiques relatives à la production électro-nucléaire tiennent essentiellement au fait que la représentation implicite est celle d'un parc inscrit dans un pays et géré par un régulateur unique.<sup>7</sup> Cependant, si d'emblée on considère les secteurs électriques au sein d'États en cours de fédération ou fédérés, comme l'Europe ou les États-Unis d'Amérique, alors la perspective change. En effet, dans ce contexte, les acteurs sont multiples, privés ou publics. Au niveau européen, la structure du marché interne de l'électricité est de type oligopolistique; les entreprises historiques en croissance externe (EDF, Endesa, Enel, RWE, E.On, Vattenfall, etc.) dominent un secteur dans lequel de nombreux producteurs de taille moyenne cherchent à prendre position. Cela est aussi vrai pour le nucléaire, où le parc des centrales est géré par plusieurs exploitants. En effet, plusieurs niveaux se trouvent étroitement associés: la sécurité des installations, le coût du retraitement, le transport des matières fissiles, le démantèlement des centrales.<sup>8</sup>

Notre démarche, essentiellement économique, a consisté à modéliser la seule question du coût de la prévention des risques. L'avantage de cette approche est qu'elle permet d'isoler un élément fondamental dans le débat sur la question de la privatisation du secteur de l'électricité nucléaire: celui de la sûreté. Bien évidemment, les résultats acquis doivent être pondérés par les autres éléments mentionnés précédemment (démantèlement des centrales,

---

6. La considération d'économies d'échelle dans le secteur de l'énergie électrique n'est pas nouvelle. Nemoto et *alii* (1993) montrent l'existence d'économies d'échelle dans la génération déelectricité. Panzar et Willig (1986) suggèrent que la production d'électricité d'une centrale est caractérisée par des économies d'envergure.

7. Voir par exemple, Henry (2005) pour une analyse des conséquences de la privatisation d'EDF.

8. Nous prendrons comme définition de la sécurité celle de la loi L. no 2006-686, 13 juin 2006: JO, 14 juin, p. 8946 qui stipule dans son article premier que: "La sécurité nucléaire 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. 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 de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets."



retraitement, etc). Il est évident que ce parti pris de raisonner sur une dimension du secteur peut apparaître artificiel. Par exemple, la plus ou moins bonne gestion des installations aura une influence certaine sur le niveau d'obsolescence du parc et sur le moment du déclenchement des plans de démantèlement.<sup>9</sup> Du point de vue de la méthodologie économique, une fois ces points soulignés, rien n'empêche d'étendre le modèle que nous définissons pour la sûreté aux autres domaines évoqués.

## 4.2 Maîtrise des coûts de sûreté et fragmentation

Est-il fondé de traiter la question de la fragmentation du parc nucléaire à partir de la question de la sûreté des centrales? Cette approche pourrait présenter le défaut de tenter d'expliquer le processus de concentration par la question des coûts externes, autrement dit, par l'évaluation de l'impact monétaire d'accidents qui présentent, par ailleurs une très faible probabilité et dont la fréquence est nulle dans certains parcs actuellement existants.<sup>10</sup> Néanmoins son intérêt réside dans le fait, par exemple, que l'impact potentiel d'un accident détermine la structure même des centrales. Celles-ci sont construites de manière à confiner les accidents dans l'enceinte de l'exploitation. Cette structure correspond à un effort économique d'une grande ampleur qui inclut le coût de la sûreté passive (enceintes de confinement, quantité de béton, systèmes de sécurité, etc) et active (maintenance, systèmes de surveillance, etc). Les coûts de ces infrastructures sont tels que, dans un système de concurrence généralisé, sans contrôle aucun, les variables de sûreté pourraient devenir des variables stratégiques d'ajustement (Bier et *alii*, 2001). Cette hypothèse a été fortement envisagée par différents promoteurs de la libéralisation des marchés de l'énergie.

Dans une communication récente, le comité de régulation de l'Agence Nucléaire de régulation de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) définissait les règles de comportement des autorités de sûreté dans

---

9. Voir par exemple la contribution de Epaulard et Gallon (2000) sur les perspectives offertes par l'EPR et la relation entre la définition de la capacité de production et le démantèlement de la centrale.

10. La méthode d'évaluation basée sur les EPS consiste alors à décrire le scénario le plus catastrophique (l'AMR), pour en évaluer les incidences économiques en termes monétaires. Ainsi pour le projet externe, la probabilité de fusion du coeur retenue est de  $5 \times 10^{-5}$  / réacteur-an, correspondant aux valeurs des EPS de 1990 pour un réacteur de 900 MWe. Schieber, C., Schneider, T. (2002), "valorisation monétaire des impacts sanitaires et environnementaux d'un accident nucléaire : synthèse des études externes, intérêts et limites des développements complémentaires", rapport No 275, Contrat EDF P76/E01381/0, Centre d'Étude Sur l'Évaluation de la Protection dans le Domaine Nucléaire.

un univers concurrentiel :

“Of course, the competitive climate of electricity markets has not changed the basic responsibility of the operators to safely operate the nuclear power plants. In independently ensuring that nuclear plants are operated safely amid the changes of market competition, the regulator must ensure that the operator maintains the staff expertise, design basis information, research data and resources to support safe operation.” (OCDE, 2002 : 19)

Cette prudence exprime la prise de conscience que, sans contrôle, la sécurité dans le domaine du nucléaire pourrait constituer une variable d’ajustement. Par exemple, ils peuvent essayer de réduire les temps d’arrêt d’une centrale après une panne. Ils peuvent également prolonger la durée d’exploitation d’une centrale par rapport à celle qui était prévue. Au niveau théorique, notre modèle a mis en évidence que pour pouvoir réaliser l’opération de fragmentation, les entrants potentiels doivent maîtriser à la fois les structures de coûts et les variables de la sûreté. Or, il se peut que la réduction de la fréquence relative des accidents soit obtenue au prix d’un accroissement de celle des incidents. Étant donné que la nouvelle distribution des fréquences ne pourra être déduite qu’après fragmentation, le régulateur fait face à un vrai dilemme concernant la décision de fragmenter ou pas.

## 5 Conclusion

Dans cet article nous définissons les conditions qui permettent de conduire un monopole à céder ses actifs à d’autres opérateurs dès lors que la sûreté devient un enjeu. Cette cession a été appelée “fragmentation”. Le gain potentiel en terme de réduction de coûts d’exploitation et de prévention des risques ne devrait pas être évalué indépendamment de son impact sur le niveau de sûreté de cette activité. La modélisation du risque a supposé la définition d’un enchaînement “nécessaire” des événements suivant leur gravité. Cette problématique permet d’examiner deux cas, celui où les coûts du monopole et de l’entrant sont identiques mais avec des distributions de probabilité d’accident propres à chacun et le cas où coûts et distribution de probabilité varient. Le premier cas est similaire à celui que l’on trouve dans les approches de comparaison de projets risqués en termes d’espérances d’utilités. Lorsqu’il s’agit de comparer des coûts incluant des dépenses de prévention des risques et des dommages, nous avons montré que le projet préféré est celui dont la distribution place plus de poids sur les états cor-

respondant aux coûts les plus faibles. Ainsi, il est naturel de penser que certaines activités comme la production électronucléaire ne devraient pas être fragmentées avant une évaluation de l'impact que cela peut avoir en termes de risque.

Notre approche permet de dépasser celles du "tout ou rien" qui caractérise trop souvent la littérature de la responsabilité où l'accident potentiel est unique et d'intensité donnée. Elle pose également la question de l'introduction du risque dans l'approche des fonctions de coût sous-additives avec pour domaine d'application le secteur de la production d'électricité d'origine nucléaire. Cette problématique pourrait s'appliquer à plusieurs secteurs industriels réputés risqués : industrie chimique, secteur des transports, secteur énergétique. Notre choix s'est porté sur l'industrie nucléaire qui présente l'avantage d'une structuration de la gestion de la sûreté, au travers, notamment d'une autorité comme l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Un autre résultat important est que la sous-additivité dans les coûts d'exploitation n'est plus une condition nécessaire pour empêcher la fragmentation. Il suffit que l'entrant réduise significativement les coûts de prévention des risques. Le cadre théorique du papier renvoie à la question de savoir comment les nouveaux entrants peuvent maîtriser à la fois coût et sûreté. Il est apparu nécessaire d'associer les variations de coût et niveau de risque. Il s'agit de savoir si, pour un ensemble d'événements donnés, la réduction des risques peut être réalisée indépendamment d'une augmentation des coûts de maintenance ou si la réduction des coûts peut se faire indépendamment des fréquences de ces mêmes événements ? Cette question suppose l'étude de l'organisation interne des entreprises entrantes et aux relations qu'elles entretiennent avec leurs sous-traitants. Ceci fera l'objet de l'étape suivante de cette recherche.

## Bibliographie

- APPELBAUM, E., LIM C. (1985) Contestable markets under uncertainty. *Rand Journal of Economics*, 16(1) : 28–40.
- ASN (2005b, mars) *La sûreté nucléaire et la radioprotection en France en 2004*, Document de la DGSNR.
- BAUMOL, W., BAILEY R., WILLIG, R. (1977) Weak invisible hand theorems on the sustainability of multiproduct natural monopoly. *The American Economic Review*, 67(3) : 350–365.
- BIER, V., JOOSTEN, J., GLYER, D., TRACEY, J., WELSH, M. (2001) Deregulation and nuclear power safety: what can we learn from other industries? *The Electricity Journal*, 14(4) : 49–60.
- EPAULARD A., GALLON, S. (2000) La France doit-elle investir dans une nouvelle technologie nucléaire? La valorisation du projet EPR par la méthode des options réelles. *Revue de l'Énergie*, 515 : 144–157
- HADAR, J., RUSSELL W.R. (1969) Rules for ordering uncertain prospects. *The American Economic Review*, 59(1) : 25–34.
- HENRY, C. (2005, novembre) EDF, la privatisation qu'il fallait éviter. *Cahier de l'École Polytechnique*, 2005-027, CNRS.
- LEVY, H. (1992) Stochastic dominance and expected utility: survey and analysis. *Management Science*, 38(4) : 555–593.
- MONDELLO, G. (2003) Environmental and health harms under contestable competition: some basic concepts. *7<sup>ème</sup> Colloque International de l'ISINI*, Lille, 20–23 août.
- NEMOTO, J., NAKANISHI, Y., MADONO, S. (1993) Scale economies and overcapitalization in Japanese electric industries. *International Economic Review*, 34(2) : 431–440.
- ROUX-DUFORT, C., METAIS E. (1998) Building core competencies in crisis management through organisational learning. *Technological Forecasting and Social Change*, 60(2) : 113–127.
- OECD, (2002) Nuclear regulatory challenges arising from competition in electricity markets. *Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA) of the NEA*.
- PANZAR, J. C., WILLIG R. D. (1986) Economies of scope. *The American Economic Review (AEA Papers and Proceedings)*, 71(2) : 268–272.

## Annexe 1. Preuves des Propositions 1 et 2.

### Proposition 1.

La démonstration utilise la décomposition de Haddar et Russel (1969) dans le cas discret  $Q_k = Q_9 - \sum_{r=k}^8 (Q_{r+1} - Q_r)$ , pour  $k = 1, \dots, 8$  et  $Q_9$  pour  $k = 9$ . Alors la différence de coût espérés s'écrit

$$- \sum_{k=1}^9 R_k \sum_{l=1}^k [\pi^{(1)}(\omega_l) - \pi^{(2)}(\omega_l)],$$

avec  $R_k \equiv Q_{k+1} - Q_k$ ,  $\forall k = 1, \dots, 8$  et  $R_9 \equiv -Q_9$ . Vu que  $R_k \geq 0$ ,  $\forall k = 1, \dots, 8$  et que pour  $k = 9$ ,  $\sum_{l=1}^9 [\pi^{(1)}(\omega_l) - \pi^{(2)}(\omega_l)] = 0$ , alors  $\sum_{l=1}^k [\pi^{(1)}(\omega_l) - \pi^{(2)}(\omega_l)] \leq 0 \forall k = 1, \dots, 9$ .

□

### Proposition 2.

Remarquons que  $\pi^{(1)}C_k^{(1)} - \pi^{(2)}C_k^{(2)}$  peut s'écrire comme suit :

$$\frac{1}{2}(\pi^{(1)} - \pi^{(2)})(C_k^{(1)} + C_k^{(2)}) + \frac{1}{2}(C_k^{(1)} - C_k^{(2)})(\pi^{(1)} + \pi^{(2)}).$$

Notons  $C_k \equiv C_{k+1}^{(1)} + C_{k+1}^{(2)} - C_k^{(1)} - C_k^{(2)}$  pour  $k = 1, \dots, 8$ ,  $C_9 \equiv C_9^{(1)} - C_9^{(2)}$ ,  $\pi_k \equiv \pi^{(1)}(\omega_{k+1}) + \pi^{(2)}(\omega_{k+1}) - \pi^{(1)}(\omega_k) - \pi^{(2)}(\omega_k)$ . Si  $C_k \geq 0$ , et étant donné que  $\pi_k \leq 0$ , alors l'inégalité  $\sum_k \pi^{(1)}C_k^{(1)} - \sum_k \pi^{(2)}C_k^{(2)}$  est positive si  $\sum_{l=1}^k [C_k(\pi^{(1)}(\omega_l) - \pi^{(2)}(\omega_l)) + \pi_k(C_l^{(1)} - C_l^{(2)})] \leq 0$ ,  $\forall k = 1, \dots, 9$ .

□