

## Dossier : Les défis du nucléaire



*Composition en bleu au cercle bleu, Serge Poliakoff (1955)*

Trois textes constituent ce dossier.

Le premier rend compte d'un livre collectif, *Le nucléaire au prisme du temps*, qui pose l'épineux problème de la gestion des déchets. Le passé est marqué par la gestion des traces dans les mines d'uranium ; le présent et le futur sont surtout abordés au niveau des réacteurs nucléaires et notamment ceux de quatrième génération, puis sont évoquées les pistes possibles pour gérer les déchets sur le long terme.

Franck Aggeri fait ensuite une recension du livre de François Lévêque, *Nucléaire On/Off*,

sur l'analyse économique des choix en matière d'énergie nucléaire. Les questions de croissance des coûts, d'externalités, d'évaluation économique des risques majeurs sont ici discutées.

Enfin, à partir du congrès  $\lambda\mu 19$  de l'IMdR (Institut du Management des Risques), qui s'est tenu en octobre 2014, est abordée la question d'un outil de gestion utilisé dans le nucléaire mais aussi dans d'autres industries, le retour d'expérience ou REX. L'article explicite ce qu'est le REX, les échecs qui ont pu être observés depuis sa mise en place, et enfin les pistes d'amélioration qui ont été présentées lors des sessions du congrès ■

*Elodie Gigout*  
i3-CRG École polytechnique CNRS Paris-Saclay



## Le défi des déchets nucléaires : passé, présent et futur

À propos de *Le nucléaire au prisme du temps* de Sophie Bretesché & Bernd Grambow

*Elodie Gigout*

*i3-CRG École polytechnique CNRS Paris-Saclay*

Après la Seconde Guerre mondiale, le nucléaire est devenu un des enjeux de la France. Dans un premier temps, l'extraction de l'uranium a eu lieu sur le territoire français, puis s'en est suivie la construction des centrales nucléaires avec leur exploitation toujours d'actualité et se pose désormais, pour nous et pour les générations futures, le problème du traitement des déchets.

Ce livre s'intéresse aux différentes temporalités du nucléaire, le temps de l'exploration ou « *temps oublié* », le temps de l'exploitation ou « *temps cyclique* » et enfin le temps post cessation d'activités avec le « *temps éternel* » des déchets. Les auteurs viennent de domaines de recherche différents tels que la gestion, la sociologie, la chimie ou la physique, afin d'apporter une lecture polysémique des enjeux du nucléaire dans le temps.

La première partie est consacrée au passé français de l'extraction de l'uranium, la deuxième s'intéresse au processus de décision de la conception d'un réacteur, et la dernière aborde la question des déchets à vie longue.

### Le temps oublié des mines d'uranium

L'histoire du nucléaire français débute lorsque le général de Gaulle décide, au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, de créer le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) qui a pour mission de « *doter la France d'une force de frappe nucléaire et acquérir la maîtrise de l'énergie électronucléaire à titre civil (Chapot et al., 1996)* » (Ponnet & Chardon, 2014, p. 42). Pour pouvoir y parvenir, une des missions premières est l'approvisionnement en uranium. Dans un premier temps, les sols français vont être explorés, puis des mines seront exploitées. À partir des années 1990, elles fermeront progressivement, la dernière étant arrêtée en 2001. Cependant, l'histoire de l'exploitation des mines d'uranium n'est pas linéaire.

Elle a connu des soubresauts, alterné des périodes d'euphorie et de récession, s'est déployée sur le territoire au gré de la géologie nationale, de l'importance des gisements découverts, et des techniques d'exploitation



et de traitement disponibles. Témoinnant de cette diversité, l'héritage qui en découle est naturellement hétérogène. Il combine les vestiges d'un riche passé industriel sur les divisions minières les plus importantes (La Crozille, la Vendée, Lodève...) aux traces plus fugaces laissées sur les nombreux sites sur lesquels la ressource s'est avérée plus modeste. (Gay, 2014, p. 27)

Suite à la fermeture de ces mines, de gros travaux de réaménagement sont entrepris avec pour objectifs de « *restituer un lieu respectant de manière pérenne les exigences sanitaires et environnementales requises et assurer l'intégration paysagère* » (Ponnet & Chardon, 2014, p. 41). S'ensuit une période de surveillance, dont la durée est impossible à définir, qui nécessite l'intervention de l'homme pour s'assurer que les travaux de réaménagement permettent de respecter les normes sanitaires et environnementales. C'est cette surveillance qui sera remise en cause par des anomalies mises en évidence au fil du temps. Didier Gay (2014) souligne que ces anomalies relèvent de trois grands types de situations :

- Un périmètre de site mal établi, et des usages de celui-ci qui ne sont pas en adéquation avec la qualité du réaménagement : dans la commune de Saint-Pierre, à proximité de l'ancienne mine, voire sur celle-ci, ont été construits plusieurs aménagements dont un stade, un lotissement, une zone de baignade et de pêche. Plusieurs années après, des débits de doses de radioactivité anormalement élevés seront enregistrés.
- Une réutilisation non contrôlée des matériaux du site pour des soubassements : pour la construction d'une scierie et d'une cour d'école, des stériles miniers ont été utilisés comme remblais.
- Présence de marquage (essentiellement de sédiments) en aval des sites à cause d'un rejet d'eaux polluées par les sites : en 1998, on remarque des teneurs anormalement élevées en uranium dans les sédiments du lac de Saint-Pardoux construit en 1978 et à vocation touristique.

L'extraction de l'uranium aura duré 50 ans mais, de par la nature de l'énergie nucléaire, les conséquences sont toujours d'actualité et le seront encore pour de nombreuses générations à venir. Se pose dès lors la question de la gestion du risque post-exploitation. Cette gestion est complexe à mettre en place puisqu'elle mélange trois types de temporalités qui sont dissociées : le temps de la matière, le temps des institutions et le temps des hommes (Ponnet & Chardon, 2014).

Le temps de la matière est à l'échelle des temps géologiques : après un déséquilibre lié à l'action de l'homme, qui a provoqué une augmentation de la radioactivité ambiante causée par les stériles et résidus de minerai, dans les sites miniers et aux alentours, la nature a repris ses droits et ce sont les processus lents qui président de nouveau. Pour limiter l'impact des risques de la radioactivité sur l'homme et

l'environnement, des opérations de réaménagement ont été menées sur les anciennes mines et c'est désormais la surveillance qui doit s'opérer, mais pour des temps qui sont encore indéfinissables.

Ainsi, avant l'intervention de l'homme pour exploiter la ressource en uranium, l'état « de la matière » [...] correspond à une situation d'équilibre



Jaune, Serge Poliakoff  
(1956)

naturel installé depuis des millions d'années et dans lequel seuls les processus d'évolution naturelle lents président. [...] en moins de 50 ans d'exploitation, les mines d'uranium ont rompu localement les équilibres naturels millénaires établis et ont induit une instabilité nécessitant des temps longs pour parvenir à un nouveau régime d'équilibre différent de celui initialement en place. (Ponnet & Chardon, 2014, pp. 40-41)

Le temps des institutions est marqué par une instabilité qui suit les différentes phases de l'exploitation de l'uranium. « *En moins de 50 ans d'exploitation, ce ne sont pas moins de quatre organisations, en charge de l'exploitation qui se sont succédées* » (Ponnet & Chardon, 2014, p. 44), et l'ASN et l'IRSN<sup>1</sup>, qui sont les autorités régulatrices aujourd'hui, sont toutes deux issues de nombreuses fusions successives d'entités du CEA.

1. ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire ; IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.

Ces évolutions rapides des structures organisationnelles renforcent un sentiment d'instabilité incompatible avec une réflexion sur la gestion à long terme de ces sites. (Ponnet & Chardon, 2014, p. 45)

Cette difficulté d'appréhension du long terme est aussi présente dans le temps des hommes, notamment par la difficulté à créer une mémoire collective, liée à un « *refus manifeste de transmission organisée* » (Ponnet & Chardon, 2014, p. 46) de la part des mineurs qui considèrent que cela appartient au passé. Cette idée est renforcée par le réaménagement, et notamment par ce symbole fort pour eux de la chute des tours pics qui marque, dans leurs esprits, la fin des mines : « *ce passé s'évanouira en même temps que ses témoins* » (Ponnet & Chardon, 2014, p. 46). En même temps, alors que le réaménagement marque la fin d'une époque pour les mineurs, le temps de la surveillance qui s'ensuit marque l'entrée et l'appropriation du problème par de nouveaux acteurs, notamment les associations qui seront les premières à donner l'alerte sur les lacunes de la surveillance.

Le temps long de la matière, et la gestion des risques sur le long terme qui en découle, entrent en opposition avec le temps instable des institutions et le temps court, générationnel, des hommes. De plus les histoires/mémoires sont segmentées et la question qui se pose dès lors est : comment créer du lien entre ces différentes temporalités ?

Ponnet & Chardon (2014) parlent dans un premier temps de la mesure qui pourrait créer du lien de par son objectivité et sa présence avant, pendant et après les mines, mais ils soulèvent également le fait que « *la mesure ne permet de qualifier un état que par rapport aux objectifs fixés* » (p. 47) et ce sont justement ces objectifs qui sont remis en cause au cours des différents événements qui suivront l'arrêt définitif des mines (périmètre des zones à surveiller, seuil acceptable etc.). La mesure n'est donc pas suffisante pour créer du lien mais elle permet en revanche de soulever des problèmes et, de fait, crée des espaces de dialogues qui obligent la réappropriation du passé et établissent ce premier lien entre le temps des hommes, des institutions et de la matière. Ce lien est cependant fragile, de par l'absence d'institutionnalisation.

C'est une controverse médiatique en 2008, un reportage nommé « *Uranium : le scandale de la France contaminée* », qui va permettre de rappeler à tous ce passé oublié et obliger les politiques à s'emparer du problème de la gestion des anciennes mines d'uranium et de leur déchets. C'est ainsi qu'en 2009 paraît la circulaire Borloo :

Cette circulaire propose une démarche intégrée associant l'exploitant et des institutions de contrôle, la compréhension des phénomènes physico-chimiques en jeu, ainsi que la concertation avec le public. L'État esquisse ainsi les conditions nécessaires à l'émergence possible du lien entre le temps des hommes, des organisations et de la matière. (Ponnet & Chardon, 2014, p. 50)

Au-delà des temporalités, se pose la question de la transmission aux générations futures et donc de la mémoire : « *le risque environnemental inhérent aux sites miniers a suscité un processus mémoriel inachevé et encore en cours de constitution* ». Dans son article, Sophie Bretesché (2014) nous rappelle que la gestion du risque fait appel à trois registres de la mémoire.

« *Le premier renvoie au “travail de mémoire” (Ricoeur, 2000, p. 96) qui pose avec force la question de la “juste mémoire”, c’est-à-dire ce qu’il faut conserver en conscience après avoir fait le deuil d’une part du passé* ». Alors même que les anciens mineurs étaient plutôt dans l’oubli, c’est cet appel à la mémoire qui a été lancé par les associations et les médias qui se sont emparés des lacunes dans la surveillance des anciens sites miniers pour « *raviver l’histoire passée* » (Bretesché, 2014, p. 19) et qui a entraîné la réaction de l’État par la mise en place de la circulaire Borloo. Celle-ci a institutionnalisé ce travail de mémoire en convoquant les principes de « *contrôle renforcé* » et de « *vigilance accrue* » (Bretesché, 2014, p. 19).

Le deuxième registre concerne les « lieux de mémoire » comme « *support tangible concret de la mémoire... auquel les acteurs donnent un sens partagé* » (Bretesché, 2014, p. 20). La base de données MIMOSA, faisant suite à la circulaire Borloo, a pour but de recenser les anciens sites miniers et de les porter à la connaissance du public. Selon l’auteur, c’est une première étape vers la patrimonialisation mais cela pose un problème de frontière – le risque radioactif dépasse le site de l’exploitant, les frontières du risque sont mouvantes donc difficilement définissables – et un problème de valeur à attribuer au foncier avec la transformation de plus-values enregistrées lors de la phase d’exploitation en moins-values dans celle de post exploitation.

Ces deux difficultés tantôt liées au foncier et au bornage interrogent la construction d’un patrimoine « négatif » qui à terme suggère de rendre visibles les frontières du risque et de réévaluer à l’aune de ces frontières l’usage et la valeur du foncier. (Bretesché, 2014, p. 22)

Le dernier registre de la mémoire concerne la politique mémorielle destinée à conserver une partie de la culture passée. La difficulté présente est que les visions sont plurielles et segmentées et qu’un musée doit permettre la « *“mise en mémoire” du récit épique de la conquête de l’uranium mais cette démarche questionne la prise en compte d’autres récits, comme ceux des anti-nucléaires notamment* » (Bretesché, 2014, p. 24).

Selon Gay (2014, p. 33), maintenir une mémoire du risque fait appel à trois types d’outils :

- Physique, pour informer et empêcher d’accéder à des zones à risques ;
- Mise en place et maintien de bases de données sur les risques ;
- Actes administratifs, pour éviter des usages des sites incompatibles avec la radiologie présente.

L’auteur précise que, malgré la création de ces trois outils, le GEP (Groupe d’Expertise Pluraliste sur les anciens sites miniers d’uranium) s’est interrogé sur leur suffisance pour la gestion des risques à long terme, et a proposé 15 recommandations parmi lesquelles :

- Échelonner dans le temps la charge de la gestion du risque (accepter une forte gestion au début pour voir le risque décroître plus rapidement et aller vers moins de gestion par la suite).
- Transitions anticipées et maîtrisées, que ce soit pour le relais entre Areva et l’État ou encore pour les solutions de reconversion qui doivent être au centre d’un projet territorial pour éviter le syndrome de la friche industrielle oubliée.

- Diffuser les connaissances auprès des acteurs territoriaux et des publics concernés.
- Dans les régions minières, la radioactivité naturelle est plus élevée qu'ailleurs. Adapter les politiques de santé publique permettrait une prise de conscience du risque de radioactivité.

Dans cette première partie du livre, une partie de l'industrie nucléaire est observée dans les différentes phases de sa vie : exploration, exploitation, surveillance et traitement des déchets. Ceci permet de souligner la distorsion existant entre les échelles du temps des hommes et de la matière, qui pose le problème de la transmission aux générations futures en convoquant de fait la mémoire, mais surtout le maintien de cette mémoire pour des durées qui nous échappent.

### Les temps cycliques : le choix des réacteurs du futur

La deuxième partie se rapporte quant à elle à l'utilisation de l'uranium dans les réacteurs des centrales nucléaires, et les auteurs tentent de qualifier les « *processus qui structurent actuellement le processus de décision relatif aux réacteurs du futur* » (Tillement *et al.*, 2014, p. 55), notamment les réacteurs dits de quatrième génération (Gen-IV).

En 2000, le département américain de l'énergie lance une opération (GIE, Forum Génération IV) afin de structurer et coordonner la recherche sur les réacteurs du futur. La communauté scientifique définit tout d'abord les objectifs de ces futurs réacteurs, à savoir : être économiques, sûrs, non proliférants et produisant moins de déchets. Six filières différentes ont été retenues et la France s'est engagée essentiellement dans la recherche sur la filière des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na). La particularité de cette filière est de pouvoir réutiliser les déchets combustibles d'autres centrales (dans le cas de la France les 58 Réacteurs à Eaux Pressurisées REP) et donc « d'enfermer » les déchets dans un temps cyclique. En France, de l'expérience a été accumulée sur la technologie des réacteurs à neutrons rapides au sodium (RNR-Na) grâce à Rapsodie, Phénix et Superphénix. En effet, dès les années 70, la vision du CEA lors de la construction des premières centrales était de pouvoir avoir une combinaison des REP et des RNR-Na afin de « recycler les combustibles ». Un prototype de SFR, ASTRID, est actuellement en cours de construction au CEA (CEA, 2010).

Les auteurs font la supposition que la décision de développer une filière plutôt qu'une autre respecte les principes de la théorie du choix rationnel (Simon, 1978), à savoir poser un problème, concevoir plusieurs solutions pour répondre au problème en question, et faire un choix en fonction de la satisfaction de chaque solution à des critères préalablement définis. Trois temps différents peuvent être identifiés, chacun pouvant être rattaché à un des objectifs de Gen-IV :

- Le temps des réactions (Tillement *et al.*, 2014, p. 58) : extrêmement rapide, il est en lien avec l'objectif de sûreté. Cependant il semblerait que ce ne soit pas un critère de choix rationnel puisque la sûreté n'est pas, pour le moment et contre toute attente, un critère de différenciation (seul l'IRSN lui accorde de l'intérêt).
- Le temps des réacteurs (10 à 100 ans) (Tillement *et al.*, 2014, pp. 59-61) : c'est le temps de l'exploitation, et donc des enjeux économiques. Pour l'exploitant, le coefficient de disponibilité (KD) est un enjeu économique, et cet enjeu économique peut être affecté par l'introduction d'une nouvelle technologie ou par une modification de l'organisation du travail. Il semblerait que l'objectif économique ne soit pas non plus un critère rationnel ; en effet, à l'époque de

Superphénix, EDF, l'exploitant, avait des craintes quant à la disponibilité du réacteur, ce qui n'a pas empêché le CEA de continuer la recherche dans cette voie. Aujourd'hui, alors même que la France est engagée dans la recherche sur la filière SFR, EDF se lance dans une politique de prolongation du parc actuel (grand carénage) et la construction de l'EPR (European Pressurized Reactor) de Flamanville.

- Le temps des déchets (Tillement *et al.*, 2014, pp. 62-63) ; nous sommes sur du très long terme et, ici non plus, la quantité de déchets générés ne semble pas être un critère de décision rationnelle. Dans le cas de la France, la décision semble être liée à l'histoire, car la symbiose entre REP et SFR était déjà pensée à l'époque de Phénix et Superphénix. On retrouve la notion de dépendance de sentier (Nelson & Winter, 1982).

Dans la réflexion sur les réacteurs de quatrième génération, on se place dans un processus d'innovation dont les « *épreuves* » (Akrich, 1993) sont les scénarios électronucléaires. Ils permettent la « *prévision de l'évolution de l'inventaire et des flux de matière radioactive d'un parc* » (Tillement *et al.*, 2014, p. 55). Il n'existe cependant pas de méthodologie définie de construction des scénarios, ni même de liste de critères arrêtés permettant de comparer les filières, mais la construction est opérée de manière empirique. Des hypothèses sont émises en entrée et celles-ci influent sur les résultats. La comparaison d'un point de vue rationnel est donc difficile. En revanche ces hypothèses traduisent implicitement « *les biographies professionnelles, le positionnement, l'appartenance organisationnelle des différents acteurs* » (Tillement *et al.*, 2014, p. 65). En effet, tous les acteurs sont mobilisés par l'outil – les politiques ou les législateurs peuvent demander à ce qu'un scénario soit construit pour répondre à leurs questionnements propres – et ceci peut soulever des interrogations, des débats. Les scénarios ne sont donc pas des outils de prévision mais de réflexion qui permettent de mettre progressivement au jour les différents problèmes et de travailler à des solutions. Ils sont révélateurs des dynamiques à l'œuvre dans le développement de l'une ou l'autre des filières (Tillement *et al.*, 2014, pp. 63-66).

En conclusion, les auteurs nous indiquent que les objectifs du GIF ne sont pas des critères rationnels pour le choix d'une filière, et que la décision est davantage structurée autour des quatre processus ci-dessous (Tillement *et al.*, 2014, pp. 67-70) :

- *Processus de construction des connaissances* : si on n'a pas le temps ou l'argent alors on mobilise des connaissances déjà présentes sans en créer de nouvelles : la France a-t-elle vraiment décidé de la filière qui l'intéressait ou bien s'est-elle décidée pour la filière où les connaissances étaient les plus nombreuses ?
- *Processus de construction des critères de choix et d'épreuves*. Les scénarios sont des révélateurs de l'implicite.
- *Processus de construction juridique de la décision* : les textes de loi ne suivent pas les recommandations scientifiques finales, mais interviennent tout au long de la construction de la décision finale : le prototype ASTRID entre dans le cadre du grand emprunt et des investissements d'avenir or, en construisant un seul prototype, le choix est déjà structuré car la possibilité de faire marche arrière est compliquée et coûteuse.
- *Processus d'arbitrage final* : les scientifiques informent, l'exécutif dispose. « *Le pouvoir politique est ambivalent* » puisqu'il réouvre le champ des choix possibles (via la loi Bataille notamment) et impose en même temps des contraintes qui verrouillent ces mêmes choix.



## Le temps éternel des déchets à vie longue

La troisième partie est consacrée au temps éternel des déchets à vie longue et notamment aux déchets issus des combustibles des centrales nucléaires.

Dans son article, Grambow (2014) reprend le parcours des combustibles usagés. En sortie de centrale nucléaire, les déchets combustibles sont traités et on récupère les éléments que l'on peut valoriser (le plutonium, qui est un produit de fission, et l'uranium). Comme ils sont hautement radioactifs on les liquéfie, on les vitrifie, ce verre étant ensuite coulé dans une cuve en inox. Ceci permet un transport à moindre risque puisqu'il n'y a pas d'éparpillement en cas d'accident. Néanmoins, même vitrifiés, ces déchets restent extrêmement dangereux et quelques minutes à leur contact suffisent pour absorber une dose létale. Ils sont donc ensuite stockés dans un entrepôt à La Hague avec possibilité de les récupérer à tout moment sans contact humain : le risque d'entreposage n'est pas nul mais il est maîtrisé. L'entreposage est un héritage légué aux générations futures, relativement sûr, mais cette « *solution* » représente un « *transfert important de responsabilité aux générations futures... Le principe polluer/payer est enfreint dans ce contexte intergénérationnel si l'on n'essaye pas de régler le problème de manière pérenne aujourd'hui.* » (Grambow, 2014, p. 85).

L'entreposage a été choisi puisque moins risqué que les autres solutions :

- L'envoi dans l'espace (qui présente un risque de propagation en cas d'accident) ;
- L'enfouissement dans des zones peu accessibles à l'homme comme des zones de subduction ou des fosses (qui présente un fort risque de modifier l'activité volcanique ou de provoquer la contamination des océans).

En 1984, la solution retenue pour parer à l'entreposage est le stockage géologique, qui consiste à « fabriquer un coffre-fort renfermant les déchets en profondeur de la croûte terrestre » (Grambow, 2014, p. 85). Mais la recherche du site souterrain a soulevé une forte opposition.

Dans un futur lointain il n'est pas sûr que la connaissance des risques soit maintenue ... Il faut choisir une méthode de gestion où le risque radiologique d'un abandon est le moindre [...] Un débat existe : faut-il organiser la mémoire ou l'oubli d'un site de stockage géologique ? Le concept de stockage n'est pas un concept d'abandon mais un concept où l'abandon a le moindre effet négatif. (Grambow, 2014, p. 89)

Quelques années plus tard, en 1991, la loi Bataille a organisé les recherches sur la gestion des déchets radioactifs selon trois axes : la séparation/transmutation, le stockage géologique et l'entreposage de longue durée (Grambow, 2014, pp. 86-88). À elle seule, aucune de ces solutions n'est satisfaisante, mais elles sont complémentaires. La technique de séparation-transmutation permettrait de transformer des déchets de longue période en déchets de courte période (dont la radioactivité baisserait plus rapidement). Pour ce faire les RNR (Réacteurs à Neutrons Rapides) seraient d'une aide précieuse en opérant la transmutation. En revanche, tous les déchets ne pouvant être transmutés, le stockage géologique serait nécessaire et, dans l'attente d'avoir ce stockage sous-terrain, l'entreposage de longue durée serait à envisager ou à poursuivre.

En 2006, les notions de réversibilité du choix du mode de gestion des déchets et de récupérabilité de ces derniers sont introduites dans la loi. En principe, la période de réversibilité n'a pas pour objectif

*Composition grise et rouge, Serge Poliakoff (1964)*



absolu de pouvoir récupérer les déchets, mais il faut tout de même conserver cette possibilité dans le cadre de plusieurs hypothèses :

- Il devient économiquement rentable de récupérer un déchet ;
- La génération suivante ne veut pas de cette solution de stockage ;
- Une non-conformité du lieu de stockage oblige à abandonner cette solution qui, de fait, ne serait plus pérenne.

Assurer la réversibilité implique alors :

- Un inventaire détaillé de ce qui est stocké avec précision du lieu ;
- Une accessibilité de chaque déchet via des engins mécaniques ;
- Une mesure de l'évolution des déchets par des capteurs ;
- La possibilité de faire de l'entreposage en surface si des déchets sont récupérés ;
- Une disponibilité du budget afférent en cas de besoin ;
- La connaissance et l'acceptation des risques ;
- Une gestion intergénérationnelle puisque cette phase doit durer au minimum 100 ans ;
- L'acceptation du risque d'une absence de décision de fermeture ou absence d'action dans un temps satisfaisant, qui empêcherait la fermeture correcte et donc impliqueraient une augmentation du risque radiologique dans une centaine de milliers d'années « *l'abandon peut ne pas résulter nécessairement d'une décision explicite, il peut être aussi le résultat implicite d'une absence de décision* » (Grambow, 2014, p. 96).

La temporalité des risques d'un stockage géologique, assurant les conditions de réversibilité et de récupérabilité, est présentée par l'auteur en quatre phases (Grambow, 2014, pp. 90-92) :

- *Phase 1* : Pendant la phase d'exploitation, c'est la construction et le stockage des premiers modules de déchets, des centaines de camions transportant les déchets tous les jours pendant des dizaines d'années, avec le risque du transport et de la manipulation. Cette phase sera historiquement unique dans la mesure où elle associera risque radiologique et risque minier.
- *Phase 2* : phase réversible de stockage des colis de déchets dans un premier temps et des déchets exothermiques dans un deuxième temps. Cette phase et la phase 1 coexisteront (construction avec stockage). Les risques sont donc ceux de la phase précédente, avec les risques d'entreposage. Cette phase doit durer 100 ans minimum pour satisfaire la condition de réversibilité. Dans son rapport de 2008, l'ASN précise que les techniques permettant la réversibilité ne doivent pas induire une sûreté moindre dans les phases 3 et 4 (post fermeture), qui marqueront le début du stockage définitif et l'irréversibilité.
- *Phase 3*, post fermeture : c'est l'étape qui marque l'irréversibilité. L'isolation est assurée et le risque radiologique est quasiment nul : il faudrait 50 000 ans avant que des radionucléides atteignent la biosphère. L'arrivée de cette phase dépendra des décisions politiques mais d'un point de vue radiologique, et pour éviter la dégradation du lieu de stockage en phase 2, il serait préférable que cette décision soit rapide.
- *Phase 4* : elle correspond à plusieurs centaines de milliers d'années. Si la fermeture a été correctement opérée, des doses remontent dans la biosphère mais dans des quantités moindres que celles de la radioactivité naturelle ; néanmoins, les prédictions pour une période aussi lointaine soulèvent de nombreuses questions.

Les durées des phases trois et quatre et la toxicité associée sont définies pour un stockage sans problème, se déroulant « comme prévu ». Se posent alors la question de la validité des modèles sous-jacents et celle de la prise en compte de tous les facteurs.

Ainsi, le minimum du long terme dans la gestion de la matière radioactive est-il difficile à définir car les modèles utilisés dans les calculs pour estimer les doses reposent sur des lois dont la limite d'extrapolation reste, pour une part, subjective : que peut-on admettre comme erreur ? Par ailleurs les scénarios supposent que l'« homme » biologique et social est immuable et standard. (Guillaumont, 2014, p. 80)

Aujourd'hui la question du stockage divise. Les anti-nucléaires refusent cette solution, perçue comme une invitation à la surenchère de la part des pro-nucléaires. La crédibilité des experts/chercheurs est remise en cause suite à leurs collaborations avec des organismes impliqués dans le nucléaire, et un poids plus important est accordé à des chercheurs moins bien informés mais n'ayant pas travaillé avec ces organismes. La notion de réversibilité devrait pouvoir permettre d'aller vers plus de sûreté tout en laissant la possibilité de changer d'avis.

Le concept du stockage réversible doit ouvrir la possibilité de maintenir le dialogue public ouvert et d'avancer dans la sûreté sans toucher à la question du pro/contre le nucléaire. Le succès du projet de stockage va dépendre de la capacité de dissocier la solution du problème des déchets et celle du développement nucléaire [...] Même si de manière scientifique un stockage géologique semble offrir plus de sûreté à long terme, il faut s'inscrire dans une approche de déroulement lent dans le temps qui inclut tous les acteurs permettant un retour d'expérience à chaque moment avec des points d'arrêt et de questionnement qui peuvent anticiper le retour (réversibilité). (Grambow, 2014, pp. 106-107)

Dans l'ouvrage, plusieurs temps sont présents mais le temps de la matière est celui qui domine les autres. En effet, c'est finalement la question des déchets qui est centrale, que ce soient ceux des mines d'uranium ou ceux des centrales nucléaires, avec la possibilité dans le futur d'en recycler une partie. Tous posent un problème de gestion et de transmission aux générations futures. La troisième partie est donc intrinsèquement liée aux deux autres. Un stockage géologique a en effet l'avantage d'une moindre intervention des générations futures dans la gestion des déchets. Ainsi, si l'oubli, l'abandon ou la « perte de mémoire » interviennent, les conditions radiologiques seraient acceptables et des catastrophes sanitaires bien plus importantes que celles des mines d'uranium pourraient être évitées. Le « passé » des mines d'uranium a montré que le maintien de la mémoire et de la connaissance, n'est pas chose aisée et que l'oubli est un risque à prendre en compte. Dans cette temporalité qui nous échappe, toute la difficulté réside dans l'extrapolation à des centaines de milliers d'années et dans la crédibilité que l'on accepte de lui accorder.

Pour la première fois, avec le sujet des déchets, on rencontre une temporalité du risque qui dépasse un nombre interminable de générations. On rencontre ici une désynchronisation et un éclatement des temporalités humaines et physiques, privées de tout horizon unificateur. Avec cette orientation sur les temps éternels, personne ne semble vouloir communiquer sur le principal résultat de presque toutes les analyses de sûreté : il y a presque un risque zéro pour les premiers 50 000 ans de stockage (phase 3), une fois le site de stockage fermé correctement. (Grambow, 2014, p. 104) ■

## Références

- Akrich Madeleine (1993) “Les objets techniques et leurs utilisateurs, de la conception à l'action”, in Conein Bernard, Dodier Nicolas & Thévenot Laurent [eds] *Les objets dans l'action*, Paris, Éditions de l'EHESS, pp. 35-57.
- Bretesché Sophie (2014) “Au risque de la mémoire”, in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 15-25.

- Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] (2014) *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines.
- CEA (2010) *Quatrième génération : vers un nucléaire durable*. Paris, dossier de presse.
- Chapot Georges, Couprie René, Dumas Jacques, Leblanc Pierre & Kerouanton Jean-Louis, (1996) *L'uranium vendéen. 40 ans de recherches et d'exploitations minières dans le Massif armoricain*, Nantes, Adig "Cahiers du patrimoine".
- Gay Didier (2014) "Inventorier... est-ce mémoriser ?", in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 27-37.
- Grambow Bernd (2014) "Déchets à vie longue, l'éternité pour horizon", in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 83-107.
- Guillaumont Robert (2014) "La capacité de la science à modéliser le long terme", in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 75-82.
- Nelson Richard S. & Winter Sidney G. (1982) *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- Ponnet Marie & Chardon Patrick (2014) "Du temps de la matière au temps des hommes", in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 39-50.
- Ricœur Paul (2000) *La Mémoire, l'histoire, l'oubli ?*, Paris, Éditions du Seuil.
- Simon Herbert (1978) "Rational Decision-Making in Business Organizations", Lecture to the memory of Alfred Nobel, December 8.
- Tillement Stéphanie, Journé Benoit, Thiollière Nicolas & Mougino Baptiste (2014) "Les échelles de temps des scénarios électronucléaires", in Bretesché Sophie & Grambow Bernd [eds] *Le nucléaire au prisme du temps*, Paris, Presses des Mines, pp. 53-72



*Composition, Serge Poliakoff (1965)*

## Le nucléaire au prisme de l'évaluation économique À propos de *Nucléaire On/Off* de François Lévêque

*Franck Aggeri*

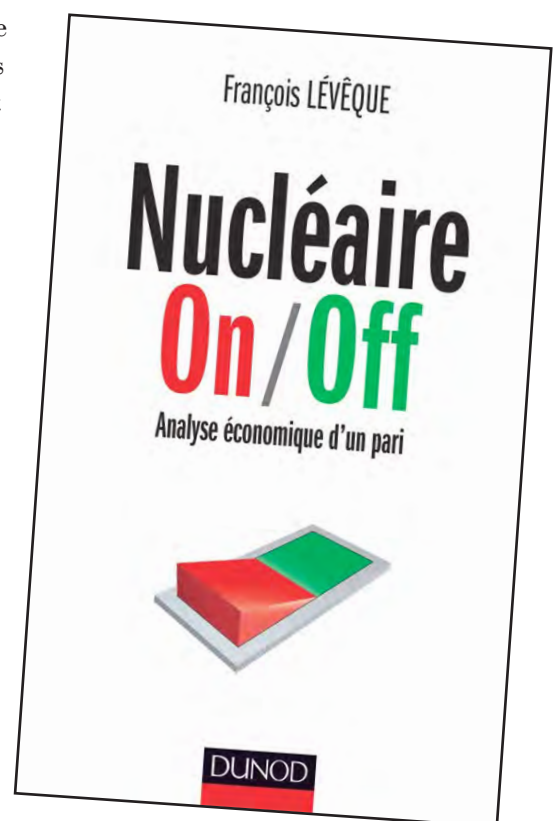
*i3-CGS Mines ParisTech Paris Sciences Lettres*

Le nucléaire est un domaine controversé où s'affrontent des points de vue et des rationalités antagonistes et *a priori* irréconciliables. Pour les défenseurs du nucléaire, c'est une technologie sûre, peu chère et permettant de réduire la dépendance énergétique des pays et de diminuer leur empreinte carbone. Pour les opposants, c'est l'exemple emblématique du risque majeur : la survenue d'un accident nucléaire, même hautement improbable, est associée à une forme d'apocalypse qui justifie une sortie rapide du nucléaire quels qu'en soient les coûts.

Dans cet univers controversé, est-il possible, malgré tout, de dépassionner le débat en proposant une analyse économique du nucléaire ? C'est le pari que tente François Lévêque, professeur à l'École des Mines ParisTech, dans un ouvrage roboratif (Lévêque, 2013). Cet ouvrage destiné au grand public se distingue par la qualité de sa documentation et son souci pédagogique. Tous les concepts et théories économiques sont présentés sans jargon. Mais le livre s'inscrit dans la tradition des travaux d'ingénieurs-économistes qui depuis Léon Walras, Marcel Boiteux ou Claude Henry ont utilisé le langage économique pour éclairer les décisions technico-économiques. Ce point de vue suppose une connaissance intime du fonctionnement des systèmes politiques et organisationnels. François Lévêque en fait la démonstration tout au cours du livre.

L'auteur rassemble et analyse une masse d'informations impressionnante. Son travail s'appuie sur une analyse approfondie des acteurs publics et privés en charge du nucléaire ainsi que de leurs rationalités. L'ouvrage se situe au-delà des débats partisans en essayant de démonter un certain nombre d'idées reçues sur l'impact économique du nucléaire et sur les tentatives pour monétariser les effets externes, positifs ou négatifs, liés à cette technologie (accidents, gestion des déchets, émissions de CO<sub>2</sub>).

La première partie propose des repères et identifie les incertitudes concernant le coût du nucléaire. L'auteur défend la thèse selon laquelle il n'existe pas de consensus sur le coût du nucléaire. Dans la perspective ouverte par Claude Riveline, l'auteur défend l'idée que l'évaluation des coûts est affaire de points de vue. Les préférences et l'aversion aux risques sont, en effet,



variables d'un observateur à l'autre. Elles se reflètent dans le choix des hypothèses et conventions de calcul, comme le taux d'actualisation par exemple. Dès lors, il est logique qu'en fonction du jeu d'hypothèses choisi, les résultats de l'évaluation économique soient variables d'un décideur à l'autre.

Mais le calcul des coûts doit également compter avec des dimensions controversées, comme l'évaluation économique des externalités. L'auteur rappelle la distinction classique entre coûts privés – à la charge des opérateurs (conception, maintenance et démantèlement des installations nucléaires) – et les externalités engendrées par cette activité. Nous avons vu à l'instant que l'évaluation des coûts privés repose sur des hypothèses, notamment concernant le taux d'actualisation retenu. Mais l'évaluation des externalités est d'une autre ampleur car elle touche à des choix de société qui peuvent être très variables d'un pays à l'autre et d'une époque à l'autre.

La principale externalité positive du nucléaire est que cette technologie émet très peu de gaz à effet de serre par rapport à d'autres technologies concurrentes. Quel prix donner à la tonne de carbone évitée ? Son prix actuel sur le marché, autour de 5 euros, est particulièrement peu incitatif. Or ce prix dépend de choix politiques (par exemple l'attribution d'un nombre plus réduit de quotas). Quelle hypothèse de prix faut-il donc retenir dans le futur ? Les propositions divergent fortement, ce qui a une incidence sur le bilan économique du nucléaire.

Mais le nucléaire est d'abord associé à des externalités négatives. La production de déchets radioactifs avec une durée de vie longue, les coûts élevés de démantèlement des installations en fin de vie et les risques d'accidents nucléaires constituent les trois externalités principales. Concernant le démantèlement et les déchets nucléaires, les questions se posent sur le long terme. Comment actualiser le coût de telles activités ? Les tenants d'un taux d'actualisation faible comme Nicholas Stern révèlent une préférence pour le futur et une attention aux générations futures plus fortes, alors que les tenants d'un taux d'actualisation plus élevé, comme William Nordhaus, révèlent une préférence pour le présent plus grande. Ainsi, indépendamment des incertitudes qui portent, par exemple, sur le coût de traitement futur des déchets nucléaires ou sur

la sûreté des installations nucléaires, le choix des hypothèses retenues influence fortement sur le calcul final.

Concernant l'évaluation économique d'un risque d'accident nucléaire, le problème est encore plus complexe. Il y a d'une part, l'estimation des probabilités de tels risques qui varient considérablement d'un régulateur à l'autre. Il y a ensuite l'évaluation économique du dommage qui fait débat. Quelle est la responsabilité civile des opérateurs en cas d'accident ? François Lévêque met en évidence le fait que cette responsabilité civile n'existe pas dans tous les pays et qu'elle est, par ailleurs, plafonnée ; ce qui signifie que les coûts sont principalement à la charge de la société (voir Berkowitz,



*Bleu, Serge Poliakoff (1952)*

2013). Le paradoxe est que même si le coût d'un accident peut atteindre des sommes vertigineuses, la très faible probabilité retenue dans les calculs conduit à ce que cette externalité a une incidence mineure dans l'évaluation des coûts du nucléaire.

L'auteur s'interroge ensuite sur ce qu'il appelle la « *malédiction des coûts croissants* ». En effet, contrairement à la plupart des technologies qui bénéficient de rendements d'échelle et d'apprentissage, l'industrie nucléaire construit trop peu de centrales pour en bénéficier. Par ailleurs, les normes de sûreté, toujours plus exigeantes, conduisent à renchérir le coût de cette technologie. Cette hausse tendancielle remet aujourd'hui en cause la compétitivité du nucléaire par rapport aux énergies renouvelables dont le coût diminue. Par ailleurs, l'augmentation de la part des énergies renouvelables dont la production est intermittente fragilise le nucléaire dont la production est rigide. Dans un bouquet énergétique avec des énergies renouvelables, mieux vaut des technologies flexibles comme les centrales au gaz qui permettent de mieux s'adapter aux variations de la production et de la demande.

Selon les hypothèses retenues, François Lévêque met en évidence le fait que le coût du kilowatt nucléaire varie de un à quatre (35 à 160 dollars/kW) conduisant certains pays peu averses aux risques à s'engager dans cette activité tandis que d'autres se retirent.

Dans la décision de s'engager ou de se retirer du nucléaire, la question de l'évaluation des risques d'accident nucléaire majeur est cruciale. C'est l'objet de la deuxième partie du livre. Comment évaluer le risque d'une fusion du réacteur nucléaire suivi du largage d'émissions radioactives comme cela a pu se produire à Tchernobyl ou Fukushima ? Le risque est la combinaison d'un aléa et d'une conséquence. L'évaluation économique d'accidents nucléaires a fait l'objet de nombreux rapports. Dans les scénarios les plus noirs, on estime un tel risque à 1 000 milliards de dollars. L'estimation des probabilités d'occurrence fait état de risques extrêmement faibles : de l'ordre au plus de 5 pour 100 000 années de fonctionnement d'un réacteur. Mais le fait demeure : les dires d'experts conduisent à retenir une espérance de coût d'un accident majeur comme très faible, voire négligeable, par rapport au coût de production du kW d'électricité nucléaire. Ce résultat heurte le bon sens dans la mesure où la survenue d'un tel accident peut conduire à des conséquences désastreuses.

Les risques ne procèdent pas uniquement du hasard. Ils dépendent de l'observateur et des connaissances du moment. Ils sont en partie maîtrisables par des actions de prévention. C'est le cas des études de sûreté qui visent à identifier les maillons les plus fragiles des centrales et évaluer leurs risques de défaillance. Dans l'exemple de Fukushima Daiichi, l'auteur met en évidence les choix risqués pris par l'exploitant en connivence avec le régulateur. Du choix de la hauteur des digues en cas de tsunami aux équipements de secours et aux mesures antisismiques, les exploitants japonais ont fait une série de paris risqués qui n'ont pas résisté au tsunami de 2011.

Fort de ces constats, l'auteur revient sur la question de notre relation aux probabilités. S'appuyant sur les travaux des économistes, tels que Savage ou Allais, il met en évidence les biais de perception des probabilités. Non seulement les individus ont une aversion variable aux risques mais leur perception des risques est biaisée par des éléments psychologiques qui vont les rendre plus sensibles aux pertes qu'aux gains, à surestimer les probabilités faibles associées à des risques majeurs. Ainsi, la probabilité d'accidents nucléaires est généralement perçue par le public comme plus élevée qu'elle ne l'est réellement et leurs conséquences sont jugées telles que leur évaluation

échappe à une analyse rationnelle. Entre probabilité perçue et probabilité calculée, l'auteur souligne les difficultés à faire valoir une analyse économique rationnelle qui pourtant ne manque pas de soubassements théoriques. La méthode bayésienne des probabilités conditionnelles permet, en principe, d'intégrer probabilités perçues et calculées.

La troisième partie opère une plongée au sein de l'organisation du système nucléaire à travers l'étude de la régulation de la sûreté nucléaire. Il justifie d'abord l'intervention publique par les faiblesses privées à développer des actions de sûreté. Selon l'auteur, l'autorégulation ne s'oppose pas à la réglementation publique mais il convient de s'interroger sur les complémentarités des deux approches. François Lévêque discute ensuite des limites de la responsabilité civile plafonnée dans la plupart des cas à des montants sans commune mesure avec le coût estimé des accidents. Devant l'ampleur des coûts engagés, le principe d'internalisation des coûts sociaux d'un accident nucléaire est impossible à mettre en œuvre : aucun système d'assurance et aucune assurance ne sauraient, en effet, y faire face.

L'auteur souligne ensuite les défaillances du régulateur. L'exemple le plus frappant est celui du Japon, où plusieurs études ont mis en évidence le manque d'indépendance et de transparence de l'autorité de régulation, ainsi que les connivences entre le régulateur et les régulés. Ce fonctionnement organisationnel a produit un ensemble de dérives dont Fukushima n'est qu'un cas parmi d'autres. Les économistes ont développé toute une série de modélisations et de prescriptions pour éviter ce phénomène de capture. Elles consistent notamment à mettre en place des systèmes d'incitation garantissant la transparence, l'indépendance, le pouvoir et la compétence du régulateur.

Est ensuite évoquée la question cruciale de la fixation des objectifs de sûreté qui peuvent porter sur des normes technologiques ou des normes de performance. Le livre analyse en détail les modèles américain et français qui, bien qu'étant réputés tous deux fiables, sont dissemblables aussi bien en termes de doctrines que de pratiques. Le modèle français est spécifique dans la mesure où un régulateur (l'Agence de Sûreté Nucléaire – ASN) a affaire à un seul exploitant (EDF). Le modèle français s'appuie sur un dialogue technique permanent et sur des normes en nombre limité et évolutives. Le modèle américain est beaucoup plus formalisé : il se fonde sur des études de risques, des analyses coûts-bénéfices et des prescriptions fortes vis-à-vis des exploitants. Les entreprises ont la possibilité de contester les règles qui leur sont imposées devant un juge comme cela a été le cas pour les règles concernant la sécurité incendie imposées par le régulateur. Ce panorama permet à l'auteur de montrer que les coûts de sûreté résultent de choix politiques et d'un dialogue entre régulateurs et exploitants et doivent être placés en regard des bénéfices attendus. Autrement dit, la sûreté a des limites qui tiennent au coût des mesures engagées.

Après cette plongée au sein des organisations, la dernière partie élargit la focale en s'intéressant aux enjeux politiques et géostratégiques du nucléaire. Elle analyse aussi bien le cas de pays qui font le choix d'entrer dans le nucléaire pour des motifs d'indépendance énergétique, de puissance, voire d'impact sur le changement climatique, à l'instar de la Pologne et de la Chine, que celui des pays qui font le choix, à la suite de la catastrophe de Fukushima Daiichi, d'accélérer la sortie du nucléaire comme l'Allemagne. L'auteur montre que dans un cas comme dans l'autre, les dimensions économiques ne sont pas toujours prépondérantes. Ainsi, les



considérations politiques et électorales ont conduit l'Allemagne à accélérer la décision de sortir du nucléaire malgré les coûts considérables associés. La perception du risque semble avoir changé suffisamment pour légitimer cette décision.

François Lévêque termine en examinant les enjeux d'une régulation européenne et internationale du nucléaire qui permettrait d'homogénéiser les normes et de réduire les coûts. En effet, les émissions radioactives ne s'arrêtant pas aux frontières, il semble raisonnable d'établir de telles normes. Dans la pratique, cette gouvernance internationale se heurte à la souveraineté des États qui est d'autant plus sensible sur ces sujets que les positions sont profondément tranchées entre pays pro- et anti-nucléaires. On retrouve ici les problèmes classiques d'action collective et de passagers clandestins soulevés en son temps par Mancur Olson (1978).

La conclusion récapitule les principaux déterminants de l'avenir planétaire du nucléaire. Sur un plan économique, il s'agit d'enrayer la hausse des coûts qui est conditionnée à la réalisation d'économies d'échelle via un effort de standardisation, de modularisation et de production en série. L'auteur indique qu'une des pistes actuellement explorée dans certains pays consiste à construire des centrales de petite capacité fondées sur une architecture modulaire. Il s'agit également de construire une vision partagée des risques qui intègre les risques perçus dans le calcul et, enfin, de concevoir des autorités de sûreté puissantes, indépendantes, compétentes et transparentes. Concernant la gouvernance, est souligné le besoin d'éviter le mélange des genres en vigueur à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique qui, d'un côté, promeut la technologie nucléaire et de l'autre, cherche à réguler la sûreté et la sécurité – deux missions en principe antagonistes. Enfin, sont soulignés les enjeux de globalisation et de commerce international de cette industrie afin de conquérir de nouveaux marchés et d'attirer de nouveaux capitaux.

Dans les deux pages conclusives, l'auteur révèle son inclination pour le développement du nucléaire, mais pas à n'importe quelles conditions : il y est favorable dès lors que les coûts sont tenus, que la régulation de sûreté est efficace et que les risques sont maîtrisés ; il y est opposé si l'escalade des coûts se poursuit, si l'exploitation de certaines centrales est menée de façon irresponsable et si la régulation est inexistante.

### **Discussion : le calcul économique face aux risques majeurs**

L'intérêt indéniable du livre est de fournir une vue synoptique de l'industrie nucléaire et de ses enjeux économiques. Cependant, la question spécifique que pose le nucléaire est bien identifiée dans le livre : c'est celle des risques majeurs. Peut-on appliquer aux risques majeurs les mêmes méthodes que pour d'autres types de risques ? L'auteur semble penser que c'est le cas.

Les décisions argumentées de sortie du nucléaire semblent pourtant attester du contraire : le risque majeur perçu n'est pas réductible à un calcul. Comme le rappelle Romain Laufer, le risque majeur se caractérise, en effet, par le fait que les conséquences éventuelles d'un accident peuvent entraîner l'effondrement du système de légitimité associé. Ce n'est donc pas seulement les conséquences qui sont désastreuses mais l'incapacité à se les représenter ainsi qu'à évaluer les effets en chaîne sur le plan sanitaire, social, économique, politique et humain. Quelles pourraient être alors les conséquences d'un accident majeur en France ? Que vaudraient les analyses de risques, les évaluations économiques et les règles de sûreté ? Bien peu de chose au regard de conséquences incommensurables.

On touche là à la limite de l'évaluation économique. Celle-ci constitue un langage utile pour traiter de coûts et de risques susceptibles d'être appréhendés comme le montre le livre. Elle n'est pas d'un grand secours face aux risques majeurs ■

### Référence

Berkowitz Héloïse (2013) “Les risques majeurs et l'action publique”, *Le Libellio d'Aegis*, vol. 9, n° 4, pp. 13-20.

Lévêque François (2013) *Nucléaire on/off*, Paris, Dunod.

Olson Mancur (1978/1965) *La logique de l'action collective*, Paris, Presses Universitaires de France. [trad. franç. de *The logic of collective action*, Cambridge, Harvard University Press]



*Composition, Serge Poliakoff (1967)*

## Le retour d'expérience : principes, échecs et perspectives

*Elodie Gigout*  
i3-CRG École polytechnique CNRS Paris-Saclay

Le REX (retour d'expérience) est reconnu aujourd'hui comme étant un des piliers de la gestion des risques. Cependant, malgré sa mise en place, des catastrophes perdurent et, bien souvent, dans les analyses post-événements, on se rend compte que la catastrophe aurait pu être évitée si un certain nombre de signaux avaient été pris en compte. Nous commencerons donc par expliquer ce qu'est le REX puis nous détaillerons l'analyse de ces échecs en nous basant essentiellement sur la communication de Dechy & Dien (2007)<sup>1</sup> et nous aborderons enfin les perspectives pour améliorer le REX.

### Qu'est-ce que le REX ?

Pendant très longtemps, afin de faire perdurer les connaissances, le système du biseau était mis en place, à savoir un dédoublement temporaire des postes afin de faire du transfert de connaissance. Cependant, cette démarche est limitée dans son efficacité notamment par le fait que toutes les situations qui produisent de la connaissance ne se produisent pas au moment de la mise en place du biseau (Bès, 1998). Selon cet auteur, les connaissances sont une ressource de l'entreprise indissociable de l'action et en perpétuel renouvellement. Le REX est né d'un besoin de capitalisation des connaissances. Historiquement, le secteur nucléaire (CEA et EDF) est le premier à se lancer dans le REX, le besoin de capitalisation des connaissances étant rendu possible par les avancées technologiques de l'informatique. Le CEA, en particulier, se doit de garder ses connaissances actives à cause notamment de l'arrêt des projets Phénix et Superphénix et du défi du stockage des déchets à long terme. Ce besoin de capitalisation des connaissances est renforcé par l'obligation de conservation des compétences imposée par le législateur au domaine nucléaire (Bès, 1998). Alors que nous faisons tous du REX sans le savoir – nous apprenons de nos erreurs afin de ne pas les reproduire –, dans une organisation complexe, « *la mémorisation des connaissances et leur réappropriation ne sont des processus ni naturels ni automatiques* » et « *la difficulté essentielle des actions de capitalisation et de repêchage des technologies porte sur la préservation du contexte d'élaboration* ».

Initialement, le REX était centré sur la sûreté de fonctionnement. Par la suite, il a progressivement étendu son domaine aux Facteurs Organisationnels et Humains (FOH). Ainsi, il peut être vu comme une mémoire de la connaissance acquise au sein de l'entreprise. Mais il peut également être la source même de cette connaissance dans la mesure où l'analyse de l'accident, de l'incident ou du signal faible, peuvent créer cette connaissance (Dechy & Dien, 2007).

L'IMdR (INSTITUT DU MANAGEMENT DES RISQUES), ORGANISE LE CONGRÈS LAMBDA MU ( $\lambda\mu$ ) TOUS LES DEUX ANS. EN OCTOBRE 2014, LA XIX<sup>ÈME</sup> ÉDITION S'EST DÉROULÉE À DIJON AVEC POUR THÈME : « DÉCIDER DANS UN MONDE INCERTAIN : ENJEU MAJEUR DE LA MAÎTRISE DES RISQUES »

1. Les références bibliographiques présentes dans cet article sont essentiellement basées sur les actes des communications de différents congrès de l'IMdR.

Dans leur article, Dechy & Dien identifient différentes étapes du REX :

Le processus global de REX qui est partie prenante dans l'apprentissage organisationnel, comporte plusieurs étapes :

- la définition de la politique de REX (type d'événement à traiter, ressources allouées, relations entre les entités impliquées dans le REX, ...)
- la détection de l'événement ;
- la collecte des données ;
- l'analyse de(s) l'événement(s) ;
- la définition des mesures correctives ;
- la mise en œuvre des mesures correctives ;
- l'évaluation, à terme, de l'efficacité des mesures ;
- l'archivage de l'événement, de ses enseignements et de son traitement ;
- la communication des enseignements aux parties prenantes ou potentiellement intéressées.

Les auteurs font l'hypothèse que si l'une des étapes du processus est défectueuse, le processus REX est affecté dans sa globalité. Grâce à une analyse des échecs du REX dans leurs dimensions verticales, transversales, historiques et communicationnelles, ils identifient des défaillances majeures des processus REX que nous reprendrons ci-dessous et auxquelles nous ajouterons les pistes explorées par des chercheurs ayant présenté leurs travaux lors du congrès  $\mu$ 19.

### **Les échecs de l'analyse du REX : causes et perspectives**

#### *La collecte des données*

Le REX se base sur des données. Une des premières questions à se poser est donc : quelles sont celles que l'on va collecter et quels sont les moyens que l'on va affecter à ce recueil ? Le choix des données recueillies repose sur une vision des causes que l'on cherche à identifier : « *la stratégie générale et la culture d'entreprise déterminent directement la place des expériences et des expertises dans le management de projets* » (Bès, 1998).

Cependant, pour que les données recueillies auprès des différents acteurs soient de qualité, il convient d'instaurer un climat de confiance et de non punitivité afin que la parole soit libérée et non pas auto-censurée (ces deux conditions ont été exprimées lors de l'atelier sur le REX du congrès  $\mu$ 19). En effet, une des premières choses qui peut poser problème est la crainte de parler des difficultés rencontrées de peur d'une mise en cause personnelle. Si elle est nécessaire, l'évaluation suite à un événement est difficile à mener puisque se pose la question des conséquences pour la personne. Souvent les personnes peuvent tenter de combler l'écart entre le réel et le prescrit (Bourrier, 1999) afin que rien ne puisse leur être reproché.

Alors que, sur le long terme, privilégier le risque d'être mis en cause juridiquement plutôt que la sécurité ou sûreté n'est pas bénéfique puisque de plus graves incidents peuvent survenir, Dechy & Dien (2007) indiquent que cette prise de conscience est difficile à faire naître quand le *turn over* est important. Le gain que représente dans un service le fait de ne pas avoir de problème est favorisé par la dilution de la responsabilité. En externe, la communication sur les incidents peut être bloquée par la crainte de sanctions. En interne, si ces incidents font partie des indicateurs, une logique concurrentielle peut amener les personnes à éviter la diffusion de l'information.

Enfin, les auteurs précisent que « *la collecte de données est rarement menée au niveau de l'analyse du travail, au niveau des facteurs humains, organisationnels, culturels et sociétaux.* » (Dechy & Dien, 2007).

*L'importance des causes profondes organisationnelles et culturelles*

En se basant sur l'analyse d'un certain nombre d'événements, Dechy & Dien (2007) montrent que l'analyse porte trop peu souvent sur les causes profondes, notamment les « *Facteurs Organisationnels Pathogènes* ». Un accident est trop souvent résumé par l'erreur humaine ou la faiblesse technique, et il y a trop peu de descriptions du travail des cadres et de points de vue des acteurs directs.

Périnet et Garandel (2014) partent de ce même constat :

Par exemple, à la suite de la catastrophe de Tchernobyl (1986), les premiers éléments fournis par les responsables russes faisaient peser tout le poids de l'accident sur les opérateurs en insistant sur les non-respects de règles de conduite. L'analyse des causes profondes de l'accident a révélé que ces règles n'étaient ni claires ni comprises et que les principales causes de la catastrophe étaient en réalité liées à la conception de l'installation, à la pauvreté des études de sécurité ainsi qu'à la faiblesse des spécifications techniques d'exploitation et de la formation qui en résultait

et ajoutent :

L'erreur humaine est le symptôme de dysfonctionnements plus profonds et doit être considérée non comme l'aboutissement mais comme le point de départ de l'analyse.

En partant du principe que l'on ne trouve que ce que l'on cherche et que, de fait, la collecte de données est influencée, le Groupe de Travail et de Réflexion « Organisation et maîtrise des risques » de l'IMdR, indique qu'il faut adopter une posture moins normative et plus naïve pour laisser de la place à la surprise. L'objectif du groupe était de fournir un outil qui permette de prendre en compte la complexité des systèmes et ceci notamment en multipliant les points de vue pris en compte lors de l'analyse d'un incident, en se basant sur le principe de variété requise des HRO (High Reliability Organisations). Une marguerite a ainsi été créée, dont les pétales représentent des thèmes. Une première version de la marguerite est proposée aux participants avec des thèmes prédéfinis et on leur demande d'indiquer le degré d'implication des thèmes dans l'événement. Puis une seconde marguerite, avec des thèmes élargis, notamment organisationnels, leur est proposée. Ensuite, les participants sont amenés à ajouter des thèmes dont ils pensent qu'ils ont eu un impact sur l'événement. Les participants sont volontairement des acteurs de différents domaines liés de près ou de loin à l'incident. Ainsi, la marguerite s'étoffe progressivement et permet d'ouvrir le débat entre des personnes issues de domaines très différents. Cet outil permet de prendre en compte aussi bien les causes directes que les « facteurs d'influence », dont le lien de causalité avec l'événement ne peut pas être prouvé. La vocation de l'outil n'est pas de « *remplacer les techniques classiques telles que l'arbre des causes, mais de les compléter en ouvrant des axes supplémentaires* ».

Pendant longtemps, le REX a consisté en une analyse des événements après coup. Progressivement, il tend vers une anticipation visant à prendre en compte les événements précurseurs. Ceux-ci peuvent alors être analysés et identifiés correctement, ainsi que le risque encouru. Le REX prend donc deux formes : un REX réactif qui, une fois



*Gris bleu, Serge Poliakoff (1962)*

un événement intervenu va essayer d'en retrouver les causes, et un REX proactif essayant de repérer les signes précurseurs d'incidents (Dechy & Dien, 2007).

#### *La traque des signaux faibles*

Le REX proactif prend notamment la forme de la traque et du repérage du signal faible que Vaughan (2001) définit comme « un signal difficile à décoder, ou un signal qui, après analyse, paraît si improbable que les opérateurs considèrent qu'il a peu de chances de se reproduire ».

Détecter un signal faible n'est pas chose aisée puisque nous ne sommes pas conscients de ne pas savoir. La représentation du monde acceptée doit être remise en cause afin que puisse apparaître l'inadéquation entre cette représentation et le risque qui menace. La difficulté peut être amplifiée si le risque lié au signal faible a été préalablement associé à d'autres signaux, devenus routiniers. Dans un tel cas de figure, la menace est attribuée à cette cause bien identifiée, et il est dès lors encore plus difficile de repérer des signaux faibles liés à elle. Un autre cas peut se présenter : celui dans lequel des informations contradictoires empêchent le repérage des signaux faibles. Un exemple est donné par l'incident de la centrale de Millstone qui avait pourtant des résultats exemplaires en matière de sécurité comparés à ceux de la centrale de Milgrim (Dechy & Dien, 2007).

Dès lors, comment opérationnaliser l'exploitation des signaux faibles *a priori* ?

Dechy, Jouniaux & Hadida (2014) posent une définition du signal faible en termes de relation :

Données de source formelle ou informelle qu'une organisation saurait positionner dans un scénario de défaillance ou d'affaiblissement vis-à-vis de la maîtrise des risques critiques (fort du savoir scientifique, technique et professionnel).

Cette nouvelle définition influence leur approche du « traitement » des signaux faibles. Elle mêle analyse des données et expertise au cours des trois étapes définies ci-dessous, en se basant sur des facteurs organisationnels et humains et des statistiques de sûreté de fonctionnement :

- La détection est l'étape qui « associe des démarches expertes et de traitement des données pour trouver le lien entre les données REX et un scénario de sensibilisation au risque » ;
- L'évaluation de la pertinence de la relation entre le risque et les données vient ensuite ;
- L'amplification consiste à ré-interroger le modèle de défaillance après la prise en compte du nouveau risque, en le confrontant à ce qu'il était auparavant. Cette étape crée de la connaissance et va permettre de prendre en compte la relation, notamment au travers d'indicateurs de suivi.

Une telle démarche nécessite des préalables, à savoir :

- Une implication de la direction mais aussi des personnels dans la démarche de sécurité/sûreté ;
- La mise en place d'un processus efficace de remontée d'informations, de données objectivables mais aussi de données de contexte, notamment via des éléments de textes libres (questions ouvertes, par exemple) ;
- La connaissance du risque organisationnel qui doit permettre de créer des barrières efficaces.

Escande, Le Coze & Proust (2014) proposent également de tenter de trouver de nouveaux scénarios accidentels. Selon eux, la méthode ne doit pas être uniquement rationnelle, mais doit s'appuyer sur l'abduction<sup>2</sup> qui, « au vu d'une observation

2. Sur la notion d'abduction, voir Dumez (2012).

*surprenante conduit à émettre une hypothèse plausible* » dans une « démarche qui associe “hasard et sagacité” : la sérendipité ». La démarche est celle employée par les détectives – on pense à Sherlock Holmes – qui, à partir d’un savoir hétéroclite et d’une bonne capacité d’observation, formulent une hypothèse en partant d’un indice. Ici, il s’agit de formuler un scénario à partir de signaux faibles, puis de tenter de le valider grâce à de nouvelles observations. Sur le terrain, c’est de cette manière que fonctionnent les experts. Tirant parti du hasard, une telle démarche n’est pas programmable, mais elle peut être favorisée par la constitution de bases de données factuelles importantes mêlant de l’opérationnel et de l’organisationnel et l’utilisation d’un outil permettant de repérer les analogies et les similarités.

Selon Dien (2014), une amélioration de la détection des signaux faibles peut être envisagée *via* une meilleure écoute des lanceurs d’alerte, ces derniers pouvant être vus comme des relayeurs de signaux faibles. Il rappelle quelques caractéristiques du signal faible :

- « *Il est qualitatif, intuitif et subjectif* »
- « *Il est porteur d’une information fragmentaire* »
- « *Sa signification est ambiguë* »
- « *Il ne répond pas au canon du positivisme scientifique qui demande des faits vérifiés ; ainsi, lorsque les ingénieurs de Morton Thiokol firent part de leur souci la veille du vol fatal de la navette Challenger, des responsables de la NASA leur demandèrent de “prouver” le risque, de “quantifier leurs inquiétudes”* »

Or, Turner (1978) définit la sécurité comme un ensemble de croyances partagées par l’organisation ; dès lors, si quelque chose ou quelqu’un vient contredire ces croyances, il est fréquent qu’un déni se produise : celui qui lance une alerte est souvent catalogué comme un éternel mécontent. Pourtant, selon Dien (2014), la traque des signaux faibles peut être améliorée par l’écoute des lanceurs d’alerte et, pour ce faire, des débats doivent être engagés sur la sécurité sans « *phénomène de censure ou d’autocensure* ». Ces débats ne peuvent être que bénéfiques car ils donnent une place centrale à la question de la sécurité.

#### *Les mesures correctives comme partie intégrante du processus REX*

Suite à la détection et à l’analyse de nouveaux risques, des mesures correctives devraient être prises. Mais la mise en œuvre de ces mesures peut se heurter à des arbitrages défavorables liés à des enjeux autres que celui de la sécurité. Dans l’accident de la raffinerie Avon de Tosco qui, en 1999, coûta la vie à quatre ouvriers ayant essayé de colmater une fuite dans une conduite, le problème de corrosion était reconnu mais rien n’avait été fait pour y remédier. Pour éviter que les mesures nécessaires soient négligées, une des solutions est que les autorités se saisissent du problème en changeant la réglementation (Dechy & Dien, 2007). Mais il s’agit là d’une solution à long terme. Dans l’action, s’opposent deux impératifs : prendre des mesures correctives le plus rapidement possible pour pouvoir « relancer la machine » et prendre le temps nécessaire pour mettre en place des mesures correctives issues d’une analyse digne de ce nom. Périnet et Garandel (2014) attirent par ailleurs l’attention sur le fait que la fiabilité humaine n’est pas uniquement faite de procédures et de formation. Ces deux mesures peuvent même se révéler contre-productives. L’outil que les auteurs ont mis au point, la marguerite dont nous avons parlé plus haut, dans la mesure où elle permet de prendre en compte différents points de vue, ouvre le champ des possibilités en termes de leviers d’action, et donc de mesures correctives. Il faut, de plus, faire très attention au phénomène de leurre identifié par Turner (1978).

Un problème mal défini est souvent associé au phénomène de « leurre », c'est-à-dire que les précautions prises pour faire face au(x) risque(s) supposé(s) distraient l'attention du ou des risques qui seront finalement avérés. La mauvaise définition du risque [...] entraîne une « cécité organisationnelle » vis-à-vis de la sécurité de l'installation. (cité *in* Dien, 2014)

Bulot et Sfez (2014) évoquent le problème de mesures correctives difficilement applicables dans un service de radiothérapie. Ces chercheurs ont alors développé une méthode (utilisation d'un outil d'analyse *a priori* – APR Analyse Préliminaire des Risques – pour mener une analyse *a posteriori*) qui permet de mettre en place des actions correctives adaptées à la maille des services et décidées collectivement, donc mieux connectées à la réalité. Cet exemple montre que le processus REX n'est pas terminé tant qu'il n'y a pas eu preuve d'une amélioration. En effet, une mesure corrective peut se révéler contre-productive et déstabilisante. Le suivi de sa mise en place est donc nécessaire, et il devrait être partie intégrante du REX, ce qui est rarement le cas (Dechy & Dien, 2007).

#### *Les apports de l'informatique : Le traitement automatique des langues (TAL)*

Les capacités de stockage de l'information ne cessent d'augmenter et les bases de données sont de plus en plus importantes. Au début, le REX ne comportait que des données techniques. Au fil du temps, le volume d'information s'est étoffé, avec notamment des données contextuelles. Du coup, il s'est enrichi de textes non structurés ou semi structurés, dont l'analyse est particulièrement laborieuse du fait de leur nature et de leur volume.

Blatter et Raynal (2014) se sont penchés sur l'apport du Traitement Automatique des Langues (TAL) pour le traitement des bases de données REX. Ils notent que « *le retour d'expérience est considéré comme un processus de signalisation, de stockage et d'analyse des événements (écarts, défaillances, incidents) dans une entreprise, mais également comme un objet textuel qui va, par là-même, être l'objet du TAL* ». L'objectif du TAL est alors de « *mettre en évidence des causes, retrouver des situations similaires, catégoriser des faits* ».

Le TAL peut intervenir à différentes étapes du REX :

- Aide à la rédaction ;
- Catégorisation automatique ;
- Vérification de la cohérence intra-document ;
- Vérification de la cohérence inter-documents ;
- Recherche d'information ;
- Calcul de similarité ;
- Fouille de texte ;
- Clustering ;
- Application de modèles linguistiques pour mettre en évidence des relations spécifiques (causalité, temporalité, subjectivité etc.) ;
- Constitution de ressources langagières, pour améliorer les traitements futurs sur les données textuelles.

Après avoir testé différents outils de TAL sur plusieurs jeux de données issus de REX réels, les auteurs tirent quelques constats d'ordre général sur la relation TAL/REX :

- Les outils sont pertinents, efficaces et performants par rapport à la demande initiale ;
- Ils nécessitent un fort investissement en temps, ceci étant lié aux différentes attentes des organisations en fonction du type de REX à leur disposition ;



- La demande doit être précise ;
- Chaque configuration besoin/outil est particulière et implique des contraintes.

Les acteurs du REX doivent alors être formés au TAL et un réseau pour promouvoir l'utilisation du TAL pour traiter les REX est en formation.

Million-Rousseau et Tassan (2014) ont utilisé le TAL sur un point précis : l'apport du traitement sémantique sur une base de REX. Pour ce faire, la construction d'une ontologie (structuration des concepts d'un domaine) et d'une terminologie de l'organisation constitue une étape préliminaire. Pour l'analyse d'une base de 40 000 descriptions d'accidents ou d'incidents (ARIA), qui comportent une partie en texte libre qui jusque-là n'a pas été traitée, les auteurs s'appuient sur la méthode Os Way d'Ontologos corp qui « *est une méthodologie outillée de construction et de maintenance des référentiels qui exploite les documents de l'organisation et implique les experts* ». Cette méthode de création d'une ontologie comporte plusieurs étapes résumées ci-dessous :

- Générer un lexique de mots et d'expressions couramment utilisées (grâce à la combinaison de catégories grammaticales) ;
- Créer le support de l'ontologie à partir des termes apparaissant plus de deux fois ;
- Enrichir la terminologie en traitant les synonymes.

Par la suite, le logiciel OS Doc se servira de cette terminologie pour classer tout nouvel accident dans l'ontologie, ce qui permettra l'obtention d'une cartographie sémantique. Lors de l'interrogation de la base de données, la requête est analysée du point de vue de l'ontologie afin de pouvoir renvoyer les résultats les plus pertinents. Le couplage de l'analyse sémantique avec d'autres techniques engendre une forte valeur ajoutée. Dans un exemple, les auteurs montrent comment, grâce à l'ontologie, il est possible de trouver une typologie causes/événement/conséquences avec les fréquences associées : les configurations les moins fréquentes peuvent permettre de détecter un signal faible.

### **Conclusion : d'un REX réactif vers un REX proactif**

Le REX est un processus complexe comprenant de nombreuses étapes, dont chacune peut avoir des faiblesses. Il est un pilier de la gestion des risques, et progressivement il tend à devenir de plus en plus proactif, notamment grâce à la traque des signaux faibles, en prenant en compte la complexité des systèmes observés. Alors que des quantités d'informations toujours plus grandes sont stockées dans les bases de données, les progrès des traitements informatiques, et notamment du TAL, permettent d'analyser des documents écrits non structurés et riches de sens, et ce de plus en plus finement. Se passer d'une analyse humaine n'est évidemment pas imaginable mais ces outils pourraient se révéler dans le futur de véritables supports pour les experts.

Les risques majeurs sont des risques à faible probabilité, donc avec une période de retour longue (tous les cents ans). Il convient de ne pas interpréter l'absence d'accidents majeurs ou la faible occurrence d'événements mineurs comme un REX positif. Le partage de REX (entre unités, sites, groupes, industries) est un bon moyen d'améliorer le référentiel de risque en « bénéficiant » de l'apprentissage des événements des « voisins ». Le REX externe est donc un bon levier d'amélioration, pour le moment trop peu usité (Dechy & Dien, 2007). Le secteur nucléaire, qui a été le premier à se rendre compte de l'importance du REX, est aujourd'hui également en avance sur ce type de partage de données REX au travers de WANO (la World Association of Nuclear Operators) ■

## Références

- Bès Marie-Pierre (1998) “La capitalisation active des connaissances Principes, contextes et obstacles”, *Gérer et Comprendre*, n° 54 (décembre), pp. 38-51.
- Blatter Christian & Raynal Céline (2014) Méthodes d’analyse textuelle pour l’interprétation des REX humains, organisationnels et techniques, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Bourrier Mathilde (1999) *Le nucléaire à l’épreuve de l’organisation*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Bulot Mireille & Sfez Michel (2014) Améliorer l’efficacité des analyses d’événements en radiothérapie, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Dechy Nicolas & Dien Yves (2007) Les échecs du retour d’expérience dans l’industrie : problème de verticalité et/ou de transversalité, Les entretiens du Risques (IMdR) “Maîtrise des malveillances et conception des systèmes d’information face aux risques”, Paris, 13-14 décembre.
- Dechy Nicolas, Jouniaux Pierre & Hadida David (2014) Détection, pertinence et amplification des signaux faibles dans le traitement du retour d’expérience, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Dien Yves (2014) Les signaux faibles à l’aune des lanceurs d’alerte, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Dumez Hervé (2012) “Qu’est-ce que l’abduction, et en quoi peut-elle avoir un rapport avec la recherche qualitative ?”, *Le Libellio d’Aegis*, vol. 8, n° 3, pp. 3-9.
- Escande Jean, Le Coze Jean Christophe, & Proust Christophe (2014) Les signaux faibles : dépasser le problème de l’impossible prédictibilité, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Million-Rousseau Cécile & Tassan Yannick (2014) Retour d’expérience sur la gestion sémantique de la base ARIA, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Périnet Romuald & Garandel Sylvie (2014) Elargir l’horizon des possibles en multipliant les points de vue, Congrès λμ19 (IMdR) “Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques”, Dijon, 21-23 octobre.
- Turner Barry A. (1978) *Man-made disasters*, London, Wykeham Publications.
- Vaughan Diane (2001) “La normalisation de la déviance : une approche d’action située” in Bourrier Mathilde [ed] *Organiser la fiabilité*, Paris, L’Harmattan, pp. 201-234.



Sans titre, Serge Poliakoff (1967)