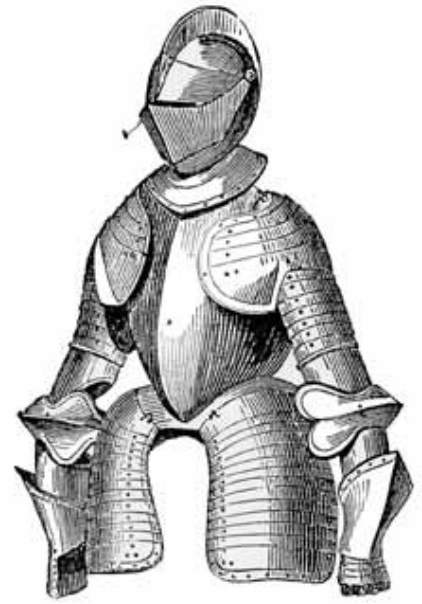
Pénombre

La lettre grise

Supplément à la Lettre d'information de Pénombre
association régie par
la loi du 1er juillet 1901

Troisième série. Volume X.
Automne 2014, numéro 13
Fondée par Lucio Nero (❄)

Les chiffres du nucléaire



Que nous soyons nucléophiles, nucléophobes, ou simplement fascinés, le nucléaire nous irradie de chiffres. Nous sommes tous contaminés. Du milliard d'euros au millisevert, de la demi-vie à l'emploi perdu ou gagné, de la faible dose au sondage d'opinion… Horrible complexité où interfèrent les mystères de la physique atomique, de l'économie, de la sociologie et de la politique… Passionnante complexité, que le chiffre éclaire ou obscurcit.

Ces chiffres, comment sont-ils fabriqués, comment sont-ils présentés, publiés, diffusés ou cachés, comment sont-ils entendus ? Comment jouent-ils dans le débat public ? Comment donner une forme à nos doutes, aux incertitudes ? Le chiffre peut-il y aider ? Quel espace pour le fait avéré ? pour les probabilités ? pour l'incertitude radicale ?

Peut-on décider sans chiffre ? Ou, au contraire, la bonne décision découle-t-elle des chiffres ? Entre les deux, quelle est la place de la controverse légitime ? Sujet éminent de débat public, puisque le pays ne peut pas éviter de décider.

Sujet que Pénombre devait bien affronter un jour. Sujet chaud, impossible à traiter en une nocturne, mais dont nous avons tenté explorer ensemble quelques aspects emblématiques.

Cette Lettre grise est la trace écrite d'une rencontre qui a eu lieu en avril 2013.

Les chiffres du nucléaire : de l'oral à l'écrit

Les nocturnes de Pénombre *ne répugnent pas aux sujets brûlants. La réforme des retraites ou les suicides à France-Télécom n'étaient pas des sujets tranquilles, mais nous avions pu en parler ensemble quelques heures sans que les tensions évidentes entre les acteurs nous empêchent de progresser dans la compréhension des problématiques, de décrypter les utilisations des chiffres par les protagonistes, et de repartir chacun avec un sac à dos d'informations pertinentes pour nourrir ses réflexions et affiner ses convictions.*

Les chiffres du nucléaire devaient bien y passer un jour.

Sujet redoutable, puisque à la fois majeur en termes de conséquences, horriblement technique, multidimensionnel (de la physique nucléaire aux questions économiques en passant par les risques majeurs et l'écologie…), et pourtant fondamentalement citoyen : la stratégie nucléaire française doit (devrait ?) résulter d'une délibération démocratique où chaque citoyen, fût-il dépourvu d'un doctorat en physique nucléaire, est (devrait être ?) appelé à exprimer son opinion. On ne peut pas renvoyer nucléophiles et nucléophobes dos à dos. Chacun doit pour son compte répondre à « la » question.

Comment prendre le sujet à Pénombre *?*

Un mode de débat dominant dans notre démocratie perfectible est le dialogue de sourds sur le ring télévisuel où chacun répète en boucle sa conviction en balançant des seaux de décibels et de chiffres sur l'adversaire, sous l'œil de l'arbitre qui doit à la fois veiller au minutage (30 secondes, c'est très long) et (audimat oblige ?) à la combativité des participants.

Pénombre*, c'est autre chose… Il y a à* Pénombre *des nucléophiles et des nucléophobes, convaincus, engagés dans leurs convictions, il y a aussi des hésitants. Pénombre cherche à comprendre, et se donne du temps…*

Le jeu de la nocturne, pour Pénombre*, ou du moins pour le petit groupe qui avait travaillé le sujet pour préparer la nocturne, c'était d'entrer dans la complexité de cet univers en utilisant la clef des chiffres… peut-être de vérifier si l'intuition de Condorcet, que le bon maniement des chiffres par le peuple pouvait contribuer à l'affranchir des tyrannies, pouvait s'actualiser sur un sujet chaud du 21e siècle. Il ne s'agit pas tant des chiffres eux-mêmes, même s'ils ont leur intérêt, que de la manière dont ils sont fabriqués, mis en scène (ou cachés en coulisses) par les protagonistes, triés, travaillés, triturés, agrégés, comparés… puis publiés, manipulés, interprétés, débattus ou ignorés. La clé de l'usage des chiffres dans le débat social ouvre une fenêtre sur les rapports de force ou d'influence, les intérêts, les mécanismes socio-politiques, les croyances et les idéologies à l'œuvre.*

Avons-nous réussi ?

Oui, mais pas tout à fait.

Oui : durant plus de trois heures de débat, nous avons, sans que l'ennui nous guette jamais, accumulé de l'information et des éclairages sur quatre angles d'attaque (le risque majeur, les déchets, l'emploi, le voisinage des centrales) qui sont loin d'épuiser le sujet, mais qui font un bon échantillonnage de facettes. On peut penser que chacun a beaucoup appris et compris, est entré un peu plus dans les logiques à l'œuvre.

Du point de vue entomologique, nous avons vu dans leur élément un certain nombre d'archétypes humains caractéristiques : le savant, le haut fonctionnaire, l'universitaire, le syndicaliste, l'économiste…

Enfin, nous avons ri, nous avons été émus, nous avons vécu…

Réussi, oui, mais pas tout à fait.

Au débriefing, nous nous sommes dit que la soirée avait sans doute un peu trop penché du côté nucléophile… Non pas que Pénombre soit tenu comme les médias en période électorale à une stricte équité du temps de parole, non pas qu'il s'agisse d'un « procès du nucléaire », mais plutôt du fait de la conjonction de deux phénomènes, l'un structurel (les producteurs de chiffres sont d'abord les opérateurs et les gestionnaires du nucléaire et donc sont « naturellement » plus présents sur la scène si on n'y prend garde), l'autre conjoncturel : dans le jeu des empêchements de dernière minute, quelques amis « nucléophobes » ont été retenus… Voilà, c'est notre impression, à nous qui avons organisé cette nocturne. Autant la partager avec vous, cher lecteur.

On trouvera ici la substance de ce qui a été dit ou montré au cours de cette nocturne. Il ne s'agit pas d'un verbatim exhaustif : le genre écrit et le genre oral n'obéissent pas aux mêmes dynamiques. Nous nous sommes permis quelques réécritures, quelques coupes dans les redondances ou les « hors sujet », en prenant soin naturellement de ne pas mettre dans la bouche de quelqu'un quelque chose qu'il n'aurait pas dit ou qui n'aurait pas son accord.

Nous espérons qu'il en résulte un document agréable à lire, pénombrien et roboratif.

Bonne lecture !

Jean-René Brunetière

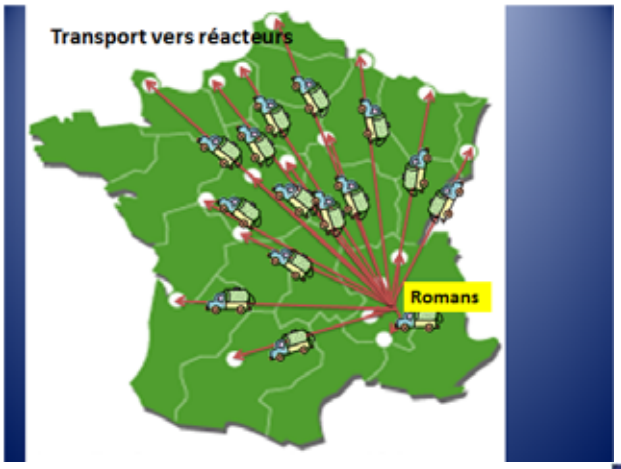
Diaporama

En attendant les intervenants, un diaporama était diffusé. La tonalité était donnée.

Nous avons eu la surprise d'apprendre que la viande contenue dans les raviolis, appelée « minerai », avait fait un beau voyage avant de se retrouver dans les assiettes de nos cantines.

Mais sommes-nous au courant du beau voyage qu'offre la France au minerai d'uranium ?

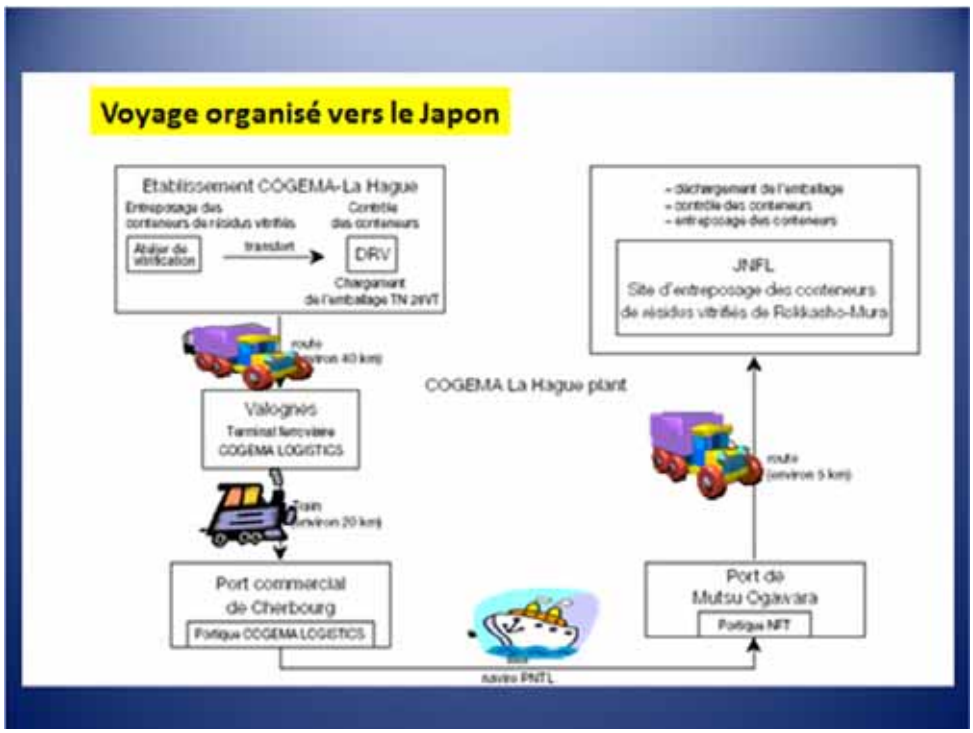
Au Havre, vous pouvez trouver une belle poudre jaune venue en bateau du Niger, du "Yellow Cake".
Je vous déconseille d'y goûter, il contient 800 kg d'uranium par tonne.
Ensuite, cette poudre va faire un très beau tour de France :
Le Havre, Malvézie, Tricastin puis Romans, en trains ou en camions, et subir divers traitements à chaque étape touristique.



À Romans, on fabrique de la poudre et des pastilles, des embouts, des crayons et des assemblages de combustible qui vont être transportés vers les 58 réacteurs à eau pressurisée dispersés sur tout le territoire.

Après utilisation dans ces centrales, le combustible usé retraverse la France vers Valognes, puis de Valognes à La Hague afin d'être retraité. Et, c'est reparti ! Le combustible issu de ce retraitement est ensuite transporté dans les 22 réacteurs français capables de l'utiliser.

La France est donc traversée en tous sens par ces transports auxquels il faut ajouter les transports de combustible usé venant de l'étranger et retraité à La Hague.



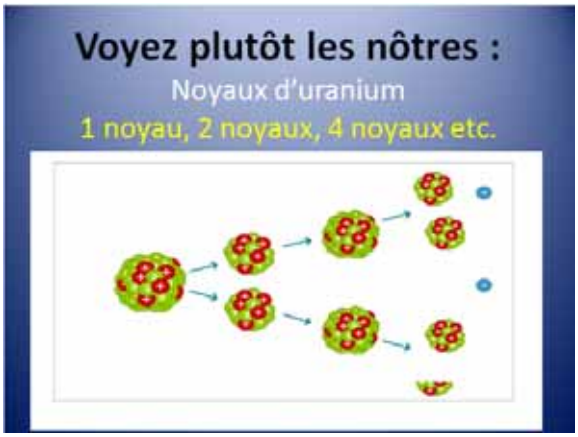
Un peu de vocabulaire nucléaire :

Il y a piscine et piscine

Il y a château et château

Il y a crayons et crayons

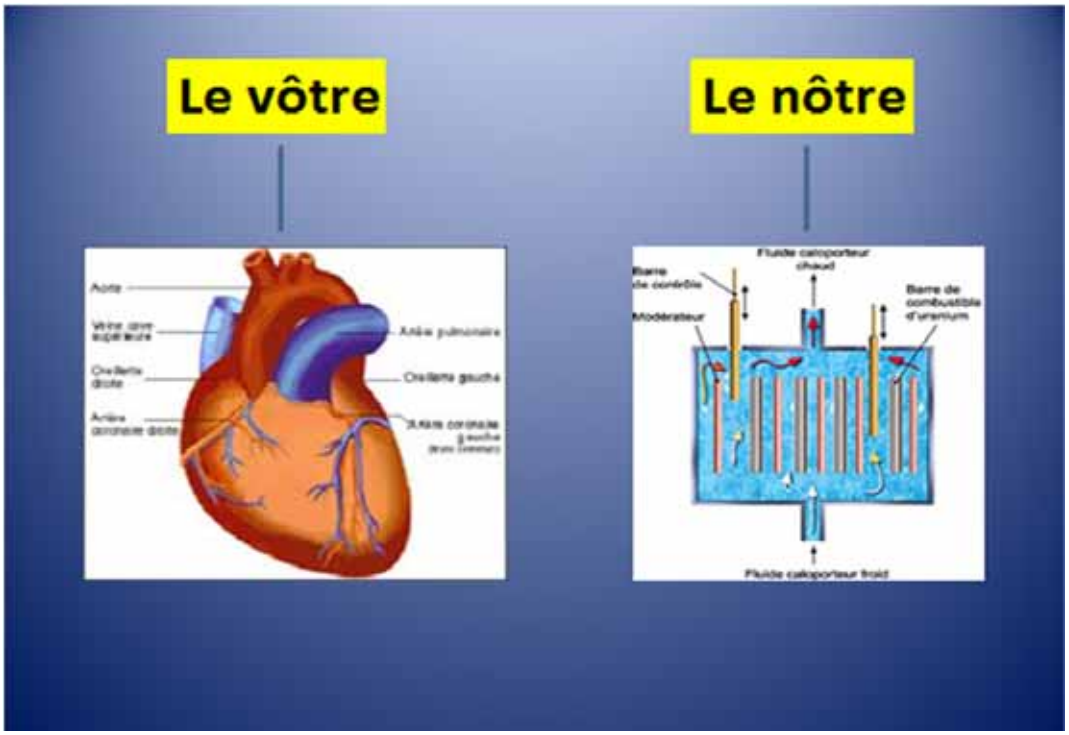
Il y a noyaux et noyaux



Il y a sarcophage et sarcophage

Il y a castor et castor

Il y a cœur et cœur



Il parait même que j'ai une âme....

Jeu

- *Animatrice* : Bonsoir et bienvenue sur le plateau du « Jeu des 444 pages » !

444, c'est le nombre de pages du prix que remportera avec lui le gagnant ce soir, un exemplaire du rapport de la Cour des Comptes sur les coûts de la filière électronucléaire !
Avec nous deux candidats : à ma droite Monsieur le Professeur Statone, à ma gauche Monsieur Yvon Dérouillé, tous les deux bien connus des fidèles de *Pénombre*[1].
Et avec nous également, virtuellement comme vous allez le voir, quelques personnalités et organismes en lien avec le nucléaire.
Je vous explique la règle du jeu : pour chacun de ces organismes ou de ces personnes, je vous donnerai deux citations et vous devrez dire laquelle lui revient. C'est clair ? Alors on y va !

On va commencer par l'entreprise Areva, groupe industriel français…

- *Dérouillé* : Areva, c'est l'EPR, non ?

- *Animatrice* : Oui, entre autres, et Areva retraite aussi des combustibles usés sur son site de La Hague.

Monsieur Statone, attention, première question : est-ce qu'Areva a dit :

> Citation n°1) « L'usine de La Hague est autorisée à polluer 1000 fois plus qu'un réacteur nucléaire. On retrouve ses rejets toxiques jusqu'en Arctique. »

ou

> Citation n°2) « L'impact du site de La Hague sur l'environnement est de moins de 0,02 millisieverts par an. »

- *Statone* : ….. heu… la 2 ??

- *Animatrice* : Bravo, professeur Statone ! Bonne réponse, et ce n'était pas facile ! La première est une citation du Réseau Sortir du Nucléaire, association française créée en 1997

Une question pour le brigadier Yvon Dérouillé, cette fois.

Le Réseau Sortir du Nucléaire, justement, dit-il :

> Citation n°1) « Bilan actualisé de l'accident de Tchernobyl : un million de morts, 800 000 liquidateurs irradiés. »

ou

> Citation n°2) « Il n'y a plus de raison sanitaire, aujourd'hui, d'empêcher le retour des populations évacuées à Fukushima, qui, au final, n'aura fait aucun mort par irradiation. »

- *Dérouillé* : Ben la 1, bien sûr.

- *Animatrice* : Ouiiii ! ah ! ils sont forts, nos candidats, aujourd'hui ! C'est bien ça, c'est la 1, la deuxième citation est de Monsieur Jean-Marc Jancovici, ingénieur français qui s'est spécialisé dans la thématique énergie-climat.

- *Dérouillé* : Et il y retourne, lui, à Fukushima ?

[1] Voir Lettre grise n°10 (2006), *La LOLF sans peine*, séquence TV-LOLF. Ces deux rôles étaient alors interprétés par d'autres acteurs de *Pénombre*.

- *Animatrice* : Bon, on continue… Professeur Statone, vous connaissez l'association *Global Chance* ?

- *Statone* : Non, pas personnellement.

- *Animatrice* : C'est une association qui cherche à faire prendre conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement global. Deux de ses fondateurs, Bernard Laponche et Benjamin Dessus ont-ils écrit :

> Citation n°1) « Three-Mile Island, Tchernobyl et Fukushima sont les seuls accidents majeurs qu'il y a eu en 14 500 années réacteurs. »

- *Dérouillé* : Il y a 14 500 réacteurs dans le monde ?

- *Animatrice* : 14 500 ANNÉES-réacteur !

- *Dérouillé* : Ah bon ! C'est comme les années-lumière, alors ?

- *Animatrice* : Euh… oui, sûrement. Enfin bon… Donc, citation n°1, ou

> Citation n°2) « La probabilité d'occurrence d'un accident majeur est de 50 % pour la France et de plus de 100 % pour l'Union européenne. »

- *Statone* **:**…euh… une probabilité plus grande que 100 %, non, ça n'est pas possible… pourtant la 1… enfin…euh… la 1, alors ?

- *Animatrice* : Nooon ! Ah ! professeur Statone, quel dommage ! C'était bien la citation n°2, et vous avez raison, cette probabilité plus grande que 1 a fait couler beaucoup d'encre. La citation n°1 vient du site de la *World Nuclear Association*, une organisation internationale qui promeut l'énergie nucléaire et défend les intérêts des industriels de ce secteur.

Monsieur Dérouillé, vous avez pour le moment 100 % de réponses justes. Je vais à présent vous demander de nous dire quelle est la citation qu'on trouve sur le site leseoliennes.be, un site belge d'information sur les éoliennes :

> Citation n°1) « l'éolien revient au moins deux fois plus cher que le nucléaire. »

ou

> Citation n°2) « L'éolien est la plus mature des énergies renouvelables et son coût devrait descendre à 63 €/MWh. Le nucléaire n'est donc pas si rentable que cela »

- *Dérouillé* : La 2, bien sûr…

- *Animatrice* : Nooon brigadier, non ! C'est la 1…

- *Dérouillé* : Et zut, une fois !

- *Animatrice* : Le site leseoliennes.be <u>s'oppose</u> aux éoliennes. Sur sa page d'accueil, on lit : « dormir près d'éoliennes nuit gravement à la santé »… C'était une question difficile je le reconnais… Nos deux candidats se retrouvent donc encore une fois à égalité, quel suspense !

Question suivante. Monsieur Statone, concentrez-vous, je vous rappelle que nous jouons pour gagner un superbe rapport de la Cour des Comptes, de 444 pages, relié pleine peau…

Monsieur Henri Proglio, PDG d'EDF, entreprise qui exploite les 58 réacteurs nucléaires français, Monsieur Proglio a-t-il dit :

> Citation n°1 : « Le démantèlement de Fessenheim créera de l'emploi »

ou

> Citation n°2 : « Une sortie du nucléaire mettrait en péril un million d'emplois »

- *Statone* : La citation n°2.

- *Animatrice* : Oui ! Bravo, c'est bien la 2, la première a été prononcée par Michel Sapin, ministre du Travail dans le gouvernement actuel [*en avril 2013*].

- *Statone* : Le gouvernement actuel qui s'est engagé à démanteler Fessenheim.

- *Animatrice* : À vous Monsieur Dérouillé… L'association Greenpeace a-t-elle écrit sur son site :

> Citation n°1 : « Depuis 2006 environ 33 000 tonnes de déchets nucléaires ont été exportés vers la Russie où ils sont simplement entreposés à l'air libre en Sibérie. »

ou

> Citation n°2 : « En moyenne et par an, chaque Français produit 2 500 kg de déchets industriels et seulement 2 kg de produits radioactifs. Parmi ces derniers, seuls 10 g ont une haute activité. »

- *Dérouillé* : La 1, je pense, mais je croyais que chaque pays devait garder ses propres déchets ?

- *Animatrice* : Oui, enfin, vous verrez ça tout à l'heure avec nos amis de *Pénombre*, mais c'était bien la 1, en effet…

Nous allons bientôt devoir rendre l'antenne, impossible de départager nos deux candidats, qui ont su répondre avec brio à presque toutes ces questions, plus difficiles les unes que les autres, bravo ! Vous êtes tous les deux déclarés gagnants ce soir du « Jeu des 444 pages », je vous remets à chacun un exemplaire du fameux rapport, bien mérité, on les applaudit bien fort !

Première partie : Santé !

Où l'on entendra parler de doses, sur deux tons,

où l'on se demandera si ce qui n'est pas décelable est inexistant,

où l'on saura ce qu'il advient de l'urine radioactive,

et où l'on comptera les morts avec des fourchettes.

Unités, doses et seuils (du plus faible au plus fort)

Bruno Aubusson de Cavarlay (Pénombre)

Nous avons rencontré beaucoup de chiffres à propos de l'énergie nucléaire. Ce n'est pas la première fois que *Pénombre* évoque un domaine d'usage des nombres dans le débat public marqué par une telle profusion de données et par leur utilisation de manière souvent confuse. Cette fois, nous avons éprouvé quand même une contradiction forte entre un accès aux nombres favorisé par la loi de 2006 sur la transparence et la sûreté en matière nucléaire et la persistance de simplifications, d'usages abusifs ou erronés qui ne sont pas du seul fait des médias. La technicité et la complexité des chiffres produits sont en partie une explication, seulement une explication, mais il faut bien passer d'abord par quelques définitions avant d'aller plus loin.

Les unités

Il est déjà compliqué de comprendre que les effets de la radioactivité se mesurent en passant d'une unité de flux de radiation à une unité d'effet de dose efficace[2] (voir plus loin les explications de Cécile Salvat). Peu de choses sont dites dans les présentations générales sur la méthode, et pourtant un pénombrien normalement constitué pressent que ce n'est pas anodin. Si nos invités ont quelques lumières à nous apporter…

Comme pour diluer le problème, l'unité est choisie de sorte que dans la vie courante, nous ne rencontrons que des sous-multiples quasi homéopathiques. Les remèdes homéopathiques se préparent par des dilutions à raison d'un volume de principe actif pour dix volumes d'eau (DH) ou cent volumes (CH) et l'opération de dilution peut être répétée N fois, d'où des mesures en N DH ou N CH.. Par exemple une dilution de 5 CH donne finalement une partie de produit pour 10^{10} parties d'eau. On pourrait filer la métaphore, en suggérant que ceux qui veulent inquiéter la population avec quelques dixièmes de millisievert (1 mSv = 0,001 Sv) sont de cette façon stigmatisés comme les partisans de l'homéopathie dont l'erreur serait de croire qu'un produit peut rester actif même si sa concentration est si faible qu'il n'y en a plus qu'une molécule par litre de diluant.

Un sievert donc est une dose quasi létale. On aurait pu partir d'une unité 1 000 fois plus petite et la dose létale aurait été de 1 000. Mais alors une dose de 100, donc dix fois moins, serait quand même de 100. Pour le moment ce n'est « que » cent milli…

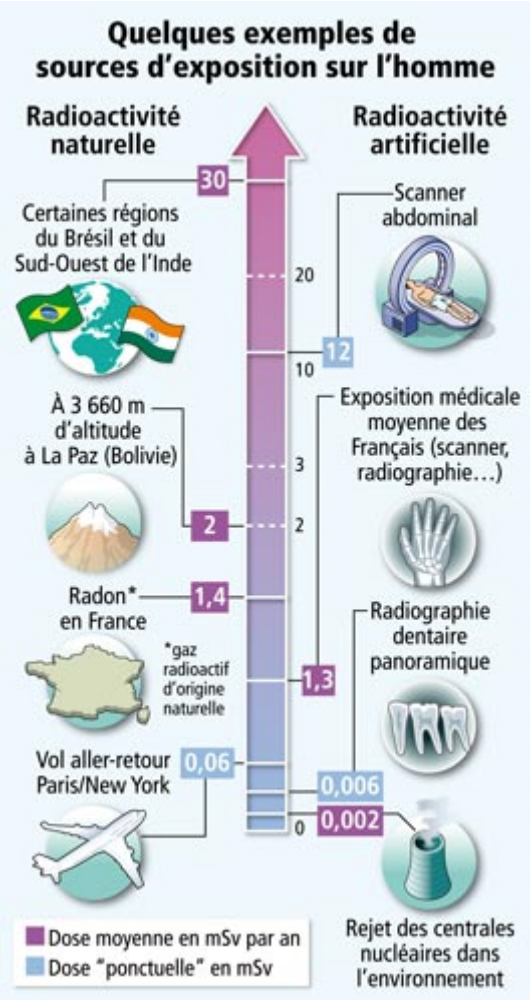
Pénombre s'est payé un compteur Geiger (plutôt bas de gamme, que les adhérents qui cotisent se rassurent) pour pourvoir produire ses propres mesures. Le président et le vice-président qui ont voyagé avec n'auront vraisemblablement enregistré que des niveaux exprimés en micro sievert par heure, niveaux qu'il faut ensuite multiplier par un peu moins de 10 pour avoir une expression en milli sievert par an. L'appareil le plus souvent se maintient à 0,12 microSv par heure donc à 1 milliSv par an.

Ce serait donc, selon notre appareil et nos mesures, la radioactivité « naturelle », ou au moins celle du président et du vice-président de *Pénombre*…

[2] Alors que le **becquerel** (Bq) mesure l'activité de la matière nucléaire et que le **gray** (Gy) mesure la dose physiquement absorbée par la matière, le **sievert** permet, quant à lui, d'évaluer l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Ainsi peut-on comparer l'effet d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente à des organismes, des organes ou des tissus qui n'ont pas la même sensibilité aux radiations. (Source IRSN)

La radioactivité naturelle

Toute radioactivité est « naturelle », même celle de l'uranium d'une centrale nucléaire ! Par radioactivité naturelle on peut entendre non anthropique, encore que ce ne soit pas toujours simple (voir graphique, source ISRN[3]). Voyager en avion à 10 000 mètres d'altitude (tiens, ici on ne dit pas 0,01 mégamètre) nous soumet ponctuellement pour un vol Paris-New-York à une de dose supplémentaire de radioactivité dite naturelle dix fois supérieure à celle d'une radiographie dentaire panoramique. Comme nous pouvons le constater de nos jours, les dentistes qui pratiquent des radiographies dans leur cabinet sortent plus ou moins de la pièce à chaque cliché pour se préserver. Le personnel navigant des avions n'a pas cette possibilité. Est-il rassuré de savoir qu'il s'agit de radioactivité naturelle ?



Par ailleurs, la radioactivité dite naturelle est souvent prise comme comparaison par le biais d'un niveau moyen. Or ça varie énormément, au moins d'un facteur 10. En plus, la comparabilité en ordre de grandeur d'une émission anthropique avec des sources de radioactivité naturelle ne permet pas de conclure à son innocuité ou son caractère admissible. Le niveau de la radioactivité naturelle (même en moyenne) n'indique pas ce que l'homme peut faire sans se préoccuper des conséquences de ce qu'il fait.

De telles considérations peuvent ainsi soulever l'inquiétude. Le graphique IRSN devrait être rassurant : les centrales nucléaires sont à l'origine d'une exposition de 0,002 millisivert par an, 2×10^{-6} Sv. Une dose homéopathique donc, quelque chose de l'ordre de 3 CH. Inoffensif comme deux granules d'arsenic à 3 CH. Et encore, une fois par an…

Les seuils

On rencontre à propos des seuils d'exposition des chiffres parsemés d'inquiétude ou d'incompréhension, et peut-être d'arbitraire. À *Pénombre* (entendez lors des réunions d'un petit groupe dit EPRN) dès que nous entendons seuils, nous pensons d'abord fixation arbitraire ou, *a minima*, fixation conventionnelle d'un niveau, c'est blanc au-dessous et noir au-dessus… Or notre simple bon sens nous conduit à penser qu'on ne passe pas du blanc au noir sans un peu de gris intermédiaire.

Alors ici l'à-quoi-ça-sertologie -discipline dont Alain Desrosières faisait la promotion[4]- peut nous éclairer. Si le seuil fixé arbitrairement ne sert qu'à dire « cette centrale nucléaire ne vous fait aucun mal », ce n'est finalement pas si rassurant que ça. C'est un simple argument d'autorité. L'un de nos interlocuteurs pendant la préparation, qui est maintenant inspecteur à l'ASN, nous a

[3] Consultable sur http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/effet-sur-homme/effets-sanitaires-faibles-doses/Pages/1-comprendre-faibles-doses-rayonnements-ionisants.aspx?dId=8c9b695a-fdbd-4622-9153-741baccf245c&dwId=120d0c15-69bb-4d20-a35e-93ac36e93e86

[4] Voir Lettre grise n°12 (2013), *Avec Alain Desrosières, entre pénombriens*.

permis de comprendre que les contrôleurs et les contrôles n'utilisaient pas les seuils de cette façon. Dans les cas de non-respect flagrant de la règlementation par l'exploitant, les niveaux de rejets observés –au-dessus d'un seuil règlementaire donc- pourront donner lieu à des sanctions. Mais le but recherché n'est pas le maintien des rejets juste en-dessous du seuil. Le principe guidant le contrôle et l'interaction entre le contrôleur et le contrôlé est d'arriver à des niveaux *as low as reasonabily achievable* (principe ALARA). Cela sonne un peu mieux, cela devient même rassurant sous le vocable de principe d'optimisation…

Un détour par le domaine médical est probablement nécessaire pour comprendre ce qui est en jeu. Les seuils dits règlementaires[5] doivent s'appliquer pour les professionnels de la santé. Alors qu'en est-il du seuil pour le public (1 mSV par an en plus de l'exposition naturelle) alors que la moyenne pour les radiographies dépasse déjà ce niveau ? Chaque responsable d'exposition non naturelle bénéficie-t-il pour la population générale d'un quota d'un mSv ? À quand un marché des quotas d'exposition ? Ou alors faut-il comprendre que ce 1 mSv est pris assez bas pour que finalement, même s'il y a dix opérateurs qui l'appliquent, on ne dépasse pas 10 mSv ?

Vingt cent mille ânes… dans un pré à 100 mSv ? Que se passa-t-il après ?

Faibles doses et accidents nucléaires

Bon maintenant, mais alors que se passe-t-il entre les 3CH des centrales nucléaires de chez nous et les sieverts mortels de Tchernobyl (26 avril 1986).

Ici se place un très étrange « seuil » qui pourrait être celui des statisticiens. Il y a des statisticiens dans la salle et ils vont peut-être me traiter d'une dose efficace de protestations allopathiques et non homéopathiques. Je prends quand même le risque.

Tout opuscule, résumé, encart sur la question des risques et des « faibles doses » nucléaires affirme qu'en dessous de 100 mSv, il n'y a pas d'effet observable sur la santé. Cela fait un peu franco-français et un peu anachronique comme présentation.

En 2006, l'OMS réglait d'un trait de plume les cas possibles de cancers liés aux faibles doses auxquelles ont été soumises des populations (ou la population mondiale) en dehors de la zone directement contaminée de Tchernobyl. Mais c'est par un curieux raisonnement statistique qui permet de dire qu'en dessous de 100 mSv, il n'y a pas d'effet détectable. Ce qui ne serait pas détectable serait inexistant.

Il faut ajouter au minimum « statistiquement » inexistant et « en l'état actuel des données disponibles ». Heureusement, les statisticiens n'ont pas disposé d'échantillons expérimentaux pour comparer ce qui arrive à 100 000 personnes soumises à 100 mSv par an d'origine nucléaire en supplément d'une radioactivité naturelle à laquelle serait seulement soumises 100 000 autres personnes d'un groupe témoin. Ce sont les situations réelles qui permettent d'avoir des « observations », les bombes d'Hiroshima et Nagasaki d'abord, mais là ce sont les fortes doses qui ont été observées. Des études réalisées on a retiré l'affirmation qu'en dessous de 100 mSv, il n'y a pas de conséquences mesurables en probabilité sur la mortalité par cancer. Fabrice Leturcq complétera sur ce point [page 21].

Les suites de l'accident de Tchernobyl et de celui de Fukushima ensuite (11 mars 2011) peuvent apporter des informations. Mais justement pour Tchernobyl, on ne dispose pas de ces observations et suivis correctement faits (pour le moment) et c'est plus ou moins cela que couvre l'expression « il n'y a pas d'effet décelable » des radiations en-dessous de 100 mSv : les conditions d'observation et de suivi n'ont pas permis de dénombrer des décès imputables à des faibles doses.

[5] « Actuellement, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) recommande que la population générale ne soit pas exposée à plus de 1 mSv par an ajouté à l'exposition naturelle. Pour les travailleurs, le seuil maximal recommandé est de 20 mSv par an. » (IRSN). Pour le public la réglementation française fixe à 1 mSv par an la dose efficace maximale admissible résultant des activités humaines en dehors de la radioactivité naturelle et des doses reçues en médecine et à 20 mSv pour les travailleurs du nucléaire bénéficiant d'un suivi médical régulier (100 pour 5 ans, 50 au maximum pour une année).

Quant à Fukushima, c'est un peu tôt pour les conclusions des études épidémiologiques de long terme.

Les programmes de recherche internationaux se sont fixés comme objectif de récolter des données suffisantes pour étudier les faibles doses. Programmes aux noms prometteurs de félicité (Melodi pour multidisciplinary european low dose initiative, réseau d'instituts de recherche européens, ARCH Agenda for Research on Chernobyl Health…). Les travaux sur les faibles doses sont donc encore en cours de réalisation ou même seulement de programmation et leurs promoteurs insistent sur l'ampleur de la tâche et la nécessité d'une approche interdisciplinaire. Ils n'affirment pas qu'en dessous de 100 mSv, rien ne se passe de grave.

La radioactivité à l'hôpital

Extraits de l'intervention de Cécile Salvat

PSRPM et PCR de l'hôpital Lariboisière (AP-HP)

Dans les établissements de santé, la règlementation qui régit l'utilisation de produits radioactifs est soumise

- au code de la santé publique, pour ce qui concerne les patients, avec pour responsable une Personne Spécialisée en Radiophysique Médicale, PSRPM.
- au code du travail, pour ce qui concerne le personnel, le public et l'environnement avec une Personne Compétente en Radioprotection, PCR.

En effet, il s'agit de protéger à la fois les patients et le personnel. Dans les 2 cas, des contrôles sont faits par différentes instances.

Pour le personnel, il existe un seuil annuel d'exposition à ne pas dépasser et le port d'un dosimètre en permet le contrôle. Pour les patients, il n'y a pas de seuil. La difficulté réside dans le choix de la dose à administrer qui est toujours un compromis puisqu'il faut utiliser la dose la plus faible possible capable néanmoins de donner une qualité d'image permettant de faire le bon diagnostic.

Les doses : dose absorbée, dose équivalente, dose efficace

À l'hôpital, on expose des patients à des rayonnements ionisants pour des raisons diagnostiques ou thérapeutiques. Par exemple, pour un examen de cardiologie interventionnelle, on expose le cœur du patient à un générateur de rayons ionisants pour avoir une image qui va servir au diagnostic. Le cœur va recevoir une certaine quantité de rayons sur une certaine portion du corps, une énergie que l'on indique en grays (Gy) (des joules par kilo). C'est la « dose absorbée ». Les rayons utilisés (X, gamma, beta) ont une pondération de 1. Le radon, par exemple, qui émet des rayons alpha a une pondération de 20 (il est 20 fois plus dangereux). En appliquant cette pondération à la dose absorbée, on obtient une « dose équivalente » qui s'écrit en sieverts ou plus souvent en millisieverts (mSv) et non plus en grays. Les différents organes ayant une sensibilité différente aux rayonnements, on utilise ensuite une autre pondération tenant compte de l'organe, ce qui permet d'aboutir à une « dose efficace », c'est-à-dire à une dose rapportée au corps entier. On a exposé un organe, mais on rapporte cette dose à l'ensemble du corps, ce qui va permettre de comparer notamment les expositions de différentes parties du corps (et de les additionner), les expositions de différents travailleurs, etc. C'est une espèce d'étalon que l'on peut comparer à la radioactivité naturelle

Si l'on prend l'exemple d'un scanner du thorax. On a un indice de 650 mG.cm (relatif au type d'examen et à la distance de la source de radiation) et un coefficient de sensibilité de l'organe de 0,014, ce qui donne une dose efficace de 9,1 mSv (à peu près équivalente à 4 années d'exposition naturelle). Pour un scanner du crâne, délivrant plus de rayons mais sur un organe moins radiosensible, on aboutit à une dose efficace de 2,2 mSv, soit l'équivalent d'une année d'exposition naturelle.

Ces calculs sont pratiques, mais on peut néanmoins se demander si l'on peut vraiment comparer 4 années d'exposition naturelle et 10 secondes d'exposition pour un examen ! Tout en sachant que l'examen doit être médicalement justifié.

DES CHIFFRES !!!

Limites annuelles d'exposition des travailleurs :

- Corps entier : 20 mSv/an
- Cristallin : 150 mSv/an
- Extrémités : 500 mSv/an

Limite annuelle d'exposition du public : 1 mSv/an

Exposition naturelle moyenne en France : 2,4 mSv/an (selon région)
Exposition à Paris : 2 mSv /an
Exposition dans la Creuse, Finistère… : 4 mSv /an
Exposition en Inde : 10 mSv/an
Exposition en Iran (Uranium, Thorium) : 100 mSv/ar

1 semaine de ski à 2000 m : 0,25 mSv
1 vol AR Paris – New York : 0,05 mSv
1 vol AR Paris – Los Angeles : 0,17 mSv

La gestion des produits radioactifs

Depuis l'arrivée dans l'établissement jusqu'à leur élimination, le circuit des produits radioactifs est très surveillé en particulier la gestion des déchets.

- Les déchets solides dont la période est inférieure à 100 jours sont entreposés dans un local spécial et l'on mesure régulièrement leur radioactivité. Lorsque leur activité est devenue inférieure à 2 fois la radioactivité naturelle, ils rejoignent les déchets ordinaires.
- Les déchets liquides (en particulier les urines des patients) sont entreposés dans des cuves et sont rejetés dans les égouts lorsque leur radioactivité est inférieure à 10 Bq par litre. Remarquons que l'eau de mer en contient 13…

Dans les deux cas, des contrôles sont opérés en sortie d'établissement et peuvent donner lieu à de fortes amendes.

Il soumit le garçon à un interrogatoire serré : n'y avait-il pas eu d'épidémies, fièvres pernicieuses en tous genres, variole et j'en passe ?-le tout d'une telle façon et avec tant de sérieux qu'on y décelait plus qu'une simple curiosité.

Nicolas Gogol, Les âmes mortes (poème), 1842

« À l'époque de Gogol, si vous étiez propriétaire terrien russe, vous pouviez vendre, acheter, mettre en gage des paysans. Les paysans étaient désignés sous le terme d'« âmes » de même que le bétail est compté en termes de « têtes ». S'il vous arrivait de faire savoir que vous aviez une centaine d'âmes, vous ne vouliez pas dire par là que vous étiez un poète mineur mais un petit hobereau. Le gouvernement vérifiait le nombre de vos paysans puisque vous deviez payer une capitation pour chacun d'eux. Si l'un de vos paysans mourait, vous deviez continuer à payer jusqu'au prochain recensement. L'« âme » morte figurait toujours sur les rôles. Vous n'aviez plus l'usage des appendices physiques mobiles dont il disposait jadis, tels les bras ou les jambes, mais l'âme que vous aviez perdue était toujours vivante dans l'Élysée de la paperasserie administrative et seul un nouveau recensement pouvait la faire disparaître. L'immortalité de l'âme durait quelques saisons mais vous deviez continuer à payer pour elle. Dans les *Ames mortes*, Tchitchikov proposait de vous acheter ces âmes qui, inéluctablement, s'accumulaient si bien que ce serait lui, et non vous, qui dorénavant réglerait la capitation. Il pensait que vous seriez heureux de vous en débarrasser et transporté de joie si vous obteniez, venant de lui, une petite gratification pour la transaction. Après avoir rassemblé un nombre suffisant de ces âmes incroyablement bon marché, il se proposa de les mettre en gage en les présentant comme de bonnes âmes vivantes, ce qu'elles étaient nommément au regard des documents officiels. »

Vladimir Nabokov, *Nicolas Gogol*, 1944.

Les âmes mortes du nucléaire, ou Tchitchikov à Tchernobyl

Fabrice Letrucq (Pénombre)

À propos de Tchernobyl, le 30 avril 1986, Noël Mamère déclarait sur *Antenne 2* : « hier la TV moscovite donnait comme bilan officiel 2 morts, mais les experts américains parlaient eux de 2 000 »[6]

Dans cette première estimation, à chaud (on ne savait alors même pas encore quel jour avait eu lieu l'accident), 3 ordres de grandeur séparaient l'estimation basse de la haute. Près de 27 ans plus tard, si les estimations basses et hautes ont toutes deux augmenté sensiblement, ce sont 4 ordres de grandeur qui séparent l'une de l'autre !

Il y a 1 000 façons d'être mort après Tchernobyl, mais seulement 3 de l'être à cause de Tchernobyl. Les 2 premières expliquent la dent inférieure de la fourchette.

Il semble d'abord qu'une ou deux personnes soient mortes dès l'explosion du réacteur, ensevelies sous les décombres.

Une quarantaine d'autres sont des victimes des effets dits « déterministes » de l'exposition aux radiations.

Au cours d'opérations ensuite décrites comme héroïques, ces personnes (essentiellement des pompiers et des membres du personnel de la centrale Lénine) ont subi des expositions de plusieurs Grays qui ont provoqué une mort très rapide (et assez atroce, en fait liée au syndrome d'irradiation aiguë).

Il est possible de douter de cette statistique. Elle est directement issue d'un recensement des personnes passées par les centres de soins spécialisés de Moscou, à un moment où l'URSS classifiait encore toutes les informations sur le sujet. Mais enregistrons quand même cet ordre de grandeur.

La troisième façon de mourir n'est finalement pas très différente des 1 000 causes ordinaires[7], et c'est bien le problème.

Lorsqu'un rayonnement traverse une cellule humaine, il peut détruire un brin ou, beaucoup plus rarement, les deux d'une molécule d'ADN. Nous perdons chaque instant des myriades de ces brins[8], qui sont tout aussi rapidement réparées ou détruites. La destruction n'est pas un problème, nous construisons des molécules d'ADN aussi vite que nous en perdons. Sauf que, parfois, le processus de réparation se déroule mal et entraîne la prolifération de cellules malignes. Un cancer[9] se développe, dont il devient impossible de déterminer l'origine *a posteriori* (irradiation ou autre).

Environ une personne sur 5 meurt d'un cancer dans notre monde moderne.[10]

---

[6] Archives INA, http://ios.mobapp.ina.fr/economie-et-societe/environnement-et-urbanisme/video/CAB86010689/tchernobyl-les-faits.fr.html

[7] Ndlr : Mille causes, ou dix puissance trois, c'est bien pour la rime numérique, mais dans les statistiques des causes de décès, la nomenclature utilisée, la CIM-10, contient plus de dix-sept mille codes.

[8] Ndlr : l'auteur sait de quoi il parle, voir http://www.penombre.org/What-is-a-billion

[9] À la relecture de ce texte, il apparaît que le mot cancer revient très souvent accolé à un facteur de risque. Il est évident qu'un cancer n'est pas toujours mortel, mais ici, le « risque de cancer » doit s'entendre comme un risque de décès par cancer. La littérature sur le sujet préfère parler de risque de cancer, et je n'arrive pas à décider si c'est plus ou moins anxiogène.

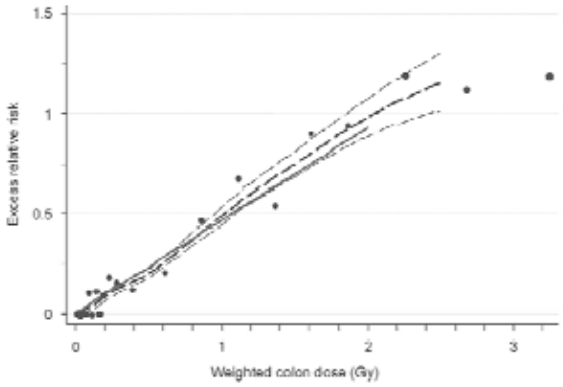
[10] Ndlr : selon l'OMS, en 2012, le cancer a été à l'origine de 8,2 millions de décès : http://www.who.int/features/factfiles/cancer/facts/fr/index1.html
Le nombre total annuel de décès dans le monde est estimé à environ 54 millions pour la période 2005-2010 : http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/mortality.htm

Encadré 1 : Les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki : Life Span Study (LSS)

La Radiation Effect Research Foundation (RERF) assure le suivi de cohortes de personnes ayant survécu aux bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, constituées selon des classes de doses reçues estimées principalement à partir de la position géographique au moment des explosions. Les maladies et décès apparus ensuite pour ces cohortes sont comparées avec ceux de populations équivalentes (selon le sexe et l'âge) non irradiées.

Les données étant toujours en voie de collecte, les évaluations sur la vie entière publiées sont révisées au fil du temps en fonction des conséquences de long terme effectivement observées. Ils le sont éventuellement aussi avec l'utilisation de méthodes statistiques supposées améliorer la fiabilité des conclusions. L'analyse de ces données fait l'objet de publications dans des revues scientifiques internationales après évaluation.

Outre ces éléments de variabilité, il y a de quoi se perdre dans les résultats présentés dans la documentation accessible en ligne par des organismes divers et des éditeurs plus ou moins marqués dans leur positionnement global par rapport au risque nucléaire. Alors que les publications scientifiques sont précises quant à la nature des cancers étudiés (la leucémie, les cancers de la thyroïde et certains cancers de la peau faisant l'objet d'analyses spécifiques), on lit parfois des résumés parlant de cancers sans autre précision. Faute de précision, la confusion peut même advenir entre dénombrement des cancers déclarés (incidence) et mortalité due à ces cancers (excédent de mortalité). L'existence d'une liaison statistique entre la dose reçue et le risque est partout exposée, souvent sous forme d'un graphique supposé montrer une relation linéaire, au moins à partir d'une certaine dose.



LSS solid cancer incidence, excess relative risk by radiation dose, 1958-1998. The thick solid line is the fitted linear sex-averaged excess relative risk (ERR) dose response at age 70 after exposure at age 30. The thick dashed line is a non-parametric smoothed estimate of the dose category-specific risks and the thin dashed lines are one standard error above and below this smoothed estimate.

Selon le site de RERF, pendant la période allant de 1958 à 1998, 7 851 cas de tumeurs malignes primaires ont été observés parmi les 44 635 survivants LSS suivis ayant reçu des doses estimées supérieures ou égales à 0,005 Gy. Le nombre de cancers solides (leucémie exclue) en excès est estimé à 848 (10,7 %). La relation dose-effet semble être linéaire, sans seuil apparent en dessous duquel il n'apparaîtrait aucun effet. (*encadré de la rédaction)*

Table. Excess risk of developing solid cancers in LSS, 1958-1998

Weighted colon dose (Gy)	LSS subjects	Cancers		Attributable risk
		Observed	Estimated excess	
0.005 - 0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1 - 0.2	5,527	968	75	7.6%
0.2 - 0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5 - 1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0 - 2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
Total	44,635	7,851	848	10.7%

On a pu montrer un lien entre une exposition à la radioactivité et la mortalité par cancer, grâce notamment au suivi des populations survivantes des villes d'Hiroshima et Nagasaki (LSS, voir encadré ci-contre).

On observe qu'au-delà d'un Gray (l'unité de dose absorbée), l'irradiation provoque des effets déterministes sur la santé des personnes exposées. Ces effets sont certains, mais variables selon les individus et d'ailleurs pas toujours cancéreux.

En deçà de ce niveau, il a été montré une corrélation entre la mortalité par cancer et la dose dite « efficace » reçue (cf. définition dans le texte précédent p.16).

En fait, cette corrélation n'a été montrée qu'au-delà de 100-200 millisieverts, classe de dose reçue par les survivants au-dessus de laquelle la relation était significative pour les décès par cancer d'organes solides.

En deçà, on parle des faibles doses, et c'est à partir de là que tout le monde n'est pas d'accord.

La question se pose en effet de savoir si, ce qui est vrai (selon les observations épidémiologiques) à 1 Sv l'est encore partiellement quand on réduit la dose d'un facteur 10, 100 ou 1000.

La doxa et la prudence tendent à admettre cette continuité. La CIPR (Comission internationale de protection radiologique) a popularisé ce qu'il est convenu d'appeler « relation linéaire sans seuil ».

Se basant sur les observations réalisées après les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, cette organisation estime à 0,8 % le taux de cancers induits par une irradiation à 100 mSv de tout le corps. Cette estimation concerne cependant les expositions soudaines et de courte durée, telles que celles enregistrées au Japon en 1945. Or, l'exposition à une dose donnée a des effets plus importants si cette exposition est brève, que si elle se répartit sur une longue durée. L'extrapolation des résultats observés à Hiroshima à la situation de Tchernobyl, par exemple, exige la construction d'un facteur de réduction[11]. Ce facteur varie de 2 à 10 selon les études, mais la CIPR adopte le facteur 2, le plus prudent, donc. En cas d'exposition longue, le taux de cancers induit devient donc 0,4 % pour une exposition totale de 100 mSv[12].

C'est-à-dire qu'une population de 100 000 personnes exposée à une dose de 100 mSv connaitrait un surcroit de 400 cancers.

L'absence de seuil, à l'extrême, en admettant une radioactivité naturelle de 2 mSv par an et 6 milliards d'êtres humains et le risque de la CIPR, permet d'évaluer à 480 000 par an le nombre de décès par cancers dus à la radioactivité naturelle.

On comprend l'utilité d'une telle hypothèse : il suffit alors de connaître la radioactivité supplémentaire due à Tchernobyl et la population affectée, pour extrapoler le nombre de victimes.

L'organisation mondiale de la santé a une définition très rassurante de cet outil : "*Exposure to ionizing doses of radiation can increase the risk of cancer* ; « l'exposition peut augmenter le risque de cancer », c'est-à-dire qu'il y a une probabilité que l'exposition accroisse la probabilité...

Elle a également contribué à populariser la plus fameuse des évaluations que nous avons rencontrées, issue, selon elle, d'un "rapport de 600 pages, en 3 volumes, qui regroupe les travaux de centaines de scientifiques...". En 2006 (20 ans après), un rapport nommé l'héritage de Tchernobyl, à l'entête de toutes les organisations onusiennes évaluait à 4 000 « le nombre de décès par cancer excédentaires, s'ajoutant aux 100 000 cancers dus à d'autres causes et survenus dans la population irradiée ». Il n'est pas facile de trouver l'origine de cette information. C'est probablement un tableau attribué à Elisabeth Cardis (*et al.*), publié dès 1996, à l'occasion de la conférence internationale de Vienne consacrée à Tchernobyl (« 10 ans après... »). Ce tableau est reproduit dans l'encadré 3 page 24.

---

[11] Facteur d'efficacité de dose et de débit de dose (FEDDD).

[12] Pour la population soumise à la dose globale, le taux de cancers induit en comparaison de la population totale s'exprime donc en unité par Sv/homme. La valeur retenue par la CIPR est 0,04.

Encadré 2 : Le modèle linéaire sans seuil

(LNT : *linear no-threshold model*)

À partir du moment où il est admis que le risque de cancer varie proportionnellement à la dose reçue (liaison dite linéaire) ce qui se passe pour les faibles doses (par exemple moins de 100 mSv) fait l'objet de discussions intenses.

Toutes scientifiques qu'elles sont, les publications et pages internet de vulgarisation sur ce sujet sont assez visiblement marquées par une option pour ou contre la pertinence de l'hypothèse selon laquelle la relation ne présente pas de seuil (LNT), ce qui signifie que le risque est non nul, aussi faible la dose soit-elle, à condition qu'elle soit non nulle.

L'affaire est d'importance lorsqu'il s'agit d'évaluer l'excès de risque de cancer dû à des doses reçues suite à un accident nucléaire ou à l'activité normale des installations nucléaires. Pour les accidents comme ceux de Tchernobyl ou Fukushima, le nombre de personnes ayant reçu une très faible dose est très grand et le produit de ce (très) grand nombre par un risque (très) faible peut donner un résultat aussi important que des doses plus élevées concentrées sur une population plus restreinte.

Les travaux menés dans le cadre du projet LSS ou ceux menés à partir des observations faites après Tchernobyl ou encore pour les travailleurs du nucléaire ne se prêtent guère à la simplification qui règle souvent les débats publics. Ils ne fournissent pas d'orientations simples concurrentes de l'option LNT. Les résultats sont très dépendants de l'âge au moment de l'exposition, du sexe, de la nature des irradiations et du type de cancer (ou d'autres maladies).

Dans le cadre de la prévention, l'absence d'outil d'évaluation simple et consensuel alternatif au modèle LNT conduit par exemple la CIPR à fonder ses recommandations sur lui :

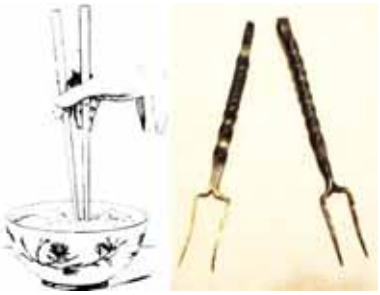
« L'hypothèse centrale d'une relation dose-effet linéaire pour l'induction d'un cancer ou d'effets héréditaires, selon laquelle un incrément de dose produit un incrément proportionnel du risque, même aux faibles doses, sert toujours de base pour la sommation des doses provenant de sources externes de rayonnement et de l'incorporation de radionucléides. » (Recommandation 103, 2007, page 19 de la traduction française)

Mais dans le même document, il est émis une forte réserve à l'égard de l'utilisation du modèle dans un cadre épidémiologique :

« La dose efficace est destinée à être utilisée en tant que grandeur de protection. Les principales utilisations de la dose efficace concernent l'évaluation prospective d'une dose pour la planification et l'optimisation de la protection radiologique, et la démonstration, à des fins de réglementation, de la conformité avec les limites de dose. La dose efficace n'est pas recommandée pour effectuer des évaluations épidémiologiques, et ne doit pas non plus être utilisée pour des investigations rétrospectives spécifiques détaillées concernant l'exposition et le risque d'un individu.

« La grandeur dose efficace collective constitue un instrument d'optimisation, permettant de comparer les technologies radiologiques et les procédures de protection, essentiellement dans le contexte de l'exposition professionnelle. La dose efficace collective ne doit pas servir d'outil pour l'évaluation du risque en épidémiologie, et il ne convient pas de l'utiliser pour les projections du risque. L'agrégation de très faibles doses individuelles sur une période de temps prolongée est inappropriée et, en particulier, le calcul du nombre de cancers létaux reposant sur des doses efficaces collectives calculées à partir de doses individuelles insignifiantes doit être évité. (ibidem, page 19-20). »

De fait, les épidémiologistes qui continuent de s'intéresser aux conséquences de Tchernobyl continuent d'utiliser plus ou moins le modèle LNT pour leurs travaux en prenant soin de distinguer des catégories de population irradiées. Cependant leurs publications sont accompagnées comme il se doit de calculs d'incertitudes. Les intervalles de confiance auxquels ils parviennent sont tels que l'impact des très faibles doses continue d'être ignoré ou nié dans les communiqués officiels et les arguments « pro-nucléaires ». (*encadré de la rédaction*)



Il présente quatre populations, exposées à des doses diverses de radioactivité et, pour chacune, dans la dernière colonne, le nombre de cancers induits par cette exposition. La projection est réalisée en affectant un facteur d'environ 0,11 à la dose collective (en Sv) subie par chaque population.

Les trois populations les plus touchées compteraient, à leur extinction, 3 960 cancers mortels supplémentaires. À ces morts "stochastiques" ont été ajoutées quelques dizaines de morts "déterministes" pour parvenir aux célèbres 4 000.

Le lecteur attentif constatera que la dernière population compte, malgré une faible exposition, mais du fait de sa taille importante, plus de morts en excès que les 3 autres réunies. Cependant, l'excès de cancers, « inférieur à 1%, selon le site de l'OMS » (le lecteur très attentif remarquera qu'il n'en est rien pour les morts de leucémie), est jugé si négligeable, qu'aucun rapport synthétique officiel ne fit jamais état de ces 4 970 morts stochastiques trop peu probables, il est vrai qu'on approchait dangereusement du changement d'ordre de grandeur...

C'est la deuxième dent de notre fourchette.

D'autres organisations rejettent catégoriquement ce type de méthode. Quelques mois après la publication des travaux de la CIPR, qui préconisait, en outre, une réduction drastique des doses limites pour les travailleurs du nucléaire exposés, l'Académie des sciences française, saisie par le gouvernement, a réalisé en 1995 un rapport très opposé à cette méthode. Arguant du caractère hypothétique des dangers des faibles doses, l'Académie avançait le risque important, notamment pour les malades, d'introduire la linéarité sans seuil dans le calcul coût avantage de l'intervention, et « confirmait qu'il n'est pas acceptable d'utiliser le concept de dose collective pour évaluer les risques liés à l'irradiation d'une population. »

Certains rejettent cependant ces conclusions. Georges Charpak[13], critiquant la frilosité des experts de l'OMS estime[14], la population du globe ayant reçu une dose totale de 600 000 Sv[15] des suites de l'accident, et compte tenu du taux du CIPR, que le nombre de morts devrait être évalué à 24 000 (0,04 X 600 000).

C'est la troisième dent de la fourchette[16].

La dernière évaluation souvent citée du nombre de victimes de la catastrophe de Tchernobyl est signée des professeurs Nesterenko (Aleksey et Vassili) et Yablokov.

Elle ne retient pas la méthode ci-dessus et recense l'ensemble des travaux d'épidémiologie publiés ces dernières années sur la catastrophe de Tchernobyl.

Le chapitre 2 est consacré aux effets sur la santé publique. Les auteurs s'appuient en particulier sur les travaux de V. Khudoley qui étudie les taux de mortalité comparés de différentes zones d'ex URSS, plus ou moins contaminées. Ces travaux conduisent à estimer le nombre de décès supplémentaires dus à Tchernobyl à environ 34 pour 1 000 habitants. Armés de ce taux, les auteurs extrapolent : au continent européen, « admettons que 10 millions de personnes vivent en Europe non ex soviétique dans des zones dont le sol est contaminé par des doses de Cesium137 supérieures à 40 KbQ/m2, et que le "risque de mortalité" soit moitié moindre (17 pour 1 000, ndlr) par rapport aux zones étudiées (meilleure qualité de vie)... », et au-delà, pour atteindre un nombre final de 985 000 morts supplémentaires entre 1986 et 2004.

40, 4 000, 24 000,1 million, voilà les quatre estimations qui demeurent aujourd'hui.

Evidemment, il y a diverses façons de les interpréter.

Les deux premières sont typiques des organisations onusiennes à qui il est reproché de minimiser le nombre de morts pour rassurer ou, pire, pour assurer le développement de l'industrie nucléaire.

---

[13] G. Charpak, R. Garwin, V. Journé : de Tchernobyl en Tchernobyls, Odile Jacob, 2005

[14] D'après le comité scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques (1993).

[15] Ordre de grandeur qui semble estimé à partir des quantités de matière rejetées lors de la catastrophe

[16] Ndlr : la fourchette a deux dents (extrêmes) mais il y a trois façons de mourir à cause de Tchernobyl, suivez bien la dialectique…

Encadré 3 : Tchernobyl et l'Europe, de 4 000 à 16 000 décès par cancer ?

Les conséquences de l'accident, au moins dans le court terme, ont été d'autant plus fortes que les populations concernées étaient proches du site. Les premières évaluations concernaient donc le personnel présent à la centrale, les liquidateurs et les résidents déplacés. Autour de Tchernobyl, des zones contrôlées ont ensuite été définies en fonction de la teneur au sol de césium 137 déposé par le nuage radioactif. Pour ces zones, il a été reconnu que cette contamination entraînerait un surcroît de cas de cancers. Le nuage radioactif s'est ensuite déplacé mais se serait arrêté aux Alpes. Avec sa dilution, il n'y aurait plus de conséquences repérables. C'était du moins la présentation officielle lors des travaux menés dix ans après l'accident.

Vingt ans après, le travail des experts a repris auprès de l'IARC avec cette fois la mission élargie « d'évaluer le fardeau de cancer lié aux retombées radioactives de l'accident dans toute l'Europe ». Les conclusions remises en 2006 avancent des évaluations qui, avec cet élargissement, dépassent les 4 000 décès par cancer affichés par l'OMS en 2005 à la suite du Forum Tchernobyl. Le communiqué de presse IARC n°168 du 20 avril 2006 mentionne que « d'ici à 2065 (c'est-à-dire au cours des quatre-vingts années suivant l'accident), les prédictions tirées de ces modèles indiquent qu'environ 16 000 cas de cancer de la thyroïde et 25 000 cas d'autres cancers pourraient être dus aux rayonnements liés à l'accident, et qu'environ 16 000 décès pourraient survenir à la suite de ces cancers ». Une note accompagne ce passage : « Les chiffres présentés ici ne donnent qu'un ordre de grandeur du nombre possible de cancers liés aux rayonnements. L'incertitude associée à ces prévisions est élevée. Pour les cancers de la thyroïde, la fourchette d'incertitude à 95 % va de 3 400 à 72 000 cas ; pour les autres cancers, elle va de 11 000 à 59 000 cas. Pour les décès par cancer, ce même intervalle d'incertitude va de 6 700 à 38 000. »

La publication des experts reprend l'état des évaluations proposées en 1996 qui avaient servi de base au Forum et donc donné un fondement aux 4 000 décès par cancer. Ils maintiennent ainsi implicitement que le nombre de 4 000 résultait de la mise à l'écart des décès pouvant survenir en dehors des zones contrôlées dans les zones contaminées d'Ukraine, Biélorussie et de la Fédération de Russie. Pour les quelque 6,8 millions de personnes ayant reçu en moyenne une dose de 7 mSv, le modèle utilisé prévoyait un excédent de 5 000 décès sur la vie entière (tableau ci-dessous). Cette partie de l'évaluation de 1996 était finalement écartée de la communication officielle au motif que la différence de 0,6 % avec les autres causes de décès par cancer ne pourrait jamais être décelée statistiquement.

Table 12. Predictions of background and excess deaths from solid cancers and leukaemia in populations exposed as a result of the Chernobyl accident (Cardis et al., 1996)

Population	Population size/average dose	Cancer type	Period	Background number of cancer deaths		Predicted excess cancer deaths		
				Number	Percent	Number	Percent	AF* (%)
Liquidators, 1986-1987	200,000 100 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 y)	41,500	21	2,000	1	5
		Leukaemia	Lifetime (95 y)	800	0.4	200	0.1	20
			First 10 years	40	0.02	150	0.08	79
Evacuees from 30 km zone	135,000 10 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 y)	21,500	16	150	0.1	0.1
		Leukaemia	Lifetime (95 y)	500	0.3	10	0.01	2
			First 10 years	65	0.05	5	0.004	7
Residents of SCZs	270,000 50 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 y)	43,500	16	1,500	0.5	3
		Leukaemia	Lifetime (95 y)	1,000	0.3	100	0.04	9
			First 10 years	130	0.05	60	0.02	32
Residents of other "contaminated" areas	6,800,000 7mSv	Solid cancers	Lifetime (95 y)	800,000	16	4,600	0.05	0.6
		Leukaemia	Lifetime (95 y)	24,000	0.03	370	0.01	1.5
			First 10 years	3,300	0.05	190	0.003	5.5

* AF: attributable fraction = (excess deaths/total death from the same cause) x 100

La publication de 2006 donne des estimations en ajoutant les populations européennes encore plus éloignées de Tchernobyl, en ordre de grandeur 7 000 décès par cancer pouvant résulter de très faibles doses évaluées à partir d'une revue détaillée des données disponibles par pays. Les auteurs eux-mêmes relativisent le résultat (16 000 décès) : le chiffre est très incertain et il sera peut-être impossible d'observer à l'avenir des variations significatives des taux de décès par cancer imputable à l'accident. En tout état de cause, ces 16 000 décès seraient bien peu de chose par rapport aux autres causes de cancer. Cet argument est repris dans le communiqué de l'IARC : « Pour mettre ces résultats en perspective, le nombre de cancers liés au tabac dans la même population sera plusieurs milliers de fois plus élevé ». La dernière « conclusion » de l'étude est qu'il est ainsi très peu probable que le fardeau de cancer du plus grand accident radiologique à ce jour puisse être jamais révélé par les statistiques nationales sur le cancer (*"It is unlikely therefore that the cancer burden from the largest radiological accident to date could be ever be detected by monitoring national cancer statistics."*) (*encadré de la rédaction*)

L'argument qu'elles développent, en pointant l'irrationalité de la peur des radiations et des réactions à celles-ci et les conséquences sanitaires désastreuses (paniques, stress, incurie des autorités...) n'est pourtant pas sans intérêt. Certains arguments sont cependant un peu choquants :

« en l'absence d'informations fiables, ils (les habitants de la région) envisageaient avec crainte et angoisse leur santé actuelle et future (...) se voyaient comme des victimes faibles et sans défense plutôt que comme des survivants »[17].

Il n'y aurait donc guère de sur-mort, mais beaucoup de sur-vivants, ce qui est un paradoxe intéressant.

Charpak lui, veut prendre acte de la catastrophe et refuse la minimisation des organisations internationales. Tout juste relativise-t-il cependant ces effets, en comparant ses 24 000 morts à « 30 000 fois plus » de cancers notamment induits par les mauvaises habitudes.

Le million est l'estimation retenue par Jean Pierre Dupuy[18], qui condamne sans pitié les mensonges des nucléocrates.

Il conclut sa condamnation par cette citation empruntée à Chesterton, l'auteur de romans policiers, dont le détective favori, le père Brown entre dans la résolution de son affaire en posant ces questions à son fidèle Flambeau :

« -Où le sage cachera-t-il un caillou ?

« -Sur la grève, répond Flambeau.

« -Où le sage cachera-t-il une feuille ?

« -Dans la forêt.

« -Mais que fait-il s'il n'y a pas de forêt ?

« Flambeau reste muet. Brown fournit la réponse :

« -Il fait pousser une forêt pour l'y cacher. Un terrible péché ! »

Et Dupuy conclut :

« Le criminel a envoyé des centaines d'hommes à la mort pour masquer le crime qu'il a commis. Le cadavre se trouve dissimulé au milieu d'une forêt de cadavres.

« Les experts qui nous assurent que Tchernobyl aurait fait 4 000 morts n'ont pas eu besoin de faire pousser une forêt de cadavres pour dissimuler ceux qu'ils ont omis. La nature leur a fourni obligeamment ce dont ils avaient besoin pour masquer leur forfaiture… Un terrible péché. »

Sources de l'encadré 4000-16000 ci-contre :

IARC, communiqué de presse n°168 :
http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2006/pr168.html
IARC, WHO, Briefing document, The Cancer Burden from Chernobyl in Europe, 2006:
http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2006/IARCBriefingChernobyl.pdf

[17] Chernobyl forum, Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine /
http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf, P21.

[18] J.P. Dupuy, Retour de Tchernobyl, Journal d'un homme en colère, Seuil, 2006.

Tous différents

Intervention de la salle : *Alfred Spira*, épidémiologiste[19].

Je voudrais intervenir sur la notion de variabilité, parce que dans la façon dont ont été abordées les questions de santé, cette question de variabilité n'a à mon sens pas été suffisamment mise en exergue.

Les effets sur la santé ne sont pas déterministes mais stochastiques. Et tout ce qui est stochastique est un processus qui survient selon des lois de probabilité qui, elles-mêmes, connaissent certaines marges d'incertitude, ce qui fait que les effets sur la santé sont variables pour les mêmes doses.

Première source de variabilité que vous avez mentionnée très vite, mais sur laquelle je voulais revenir car personnellement je ne comprends pas cette source de variabilité, c'est la dose maximale admise pour les personnes : 1 millisievert pour la population générale, 20 millisieverts pour les travailleurs. D'ailleurs, quand j'ai commencé à travailler sur le sujet, la dose maximale admise pour les travailleurs était de 100 millisieverts. Puis elle a été subitement divisée par 5. Il y a là une source de variabilité importante, c'est-à-dire qu'une personne de la population générale et un travailleur peuvent supporter des doses différentes pour des raisons qui me sont complètement obscures. Je ne comprends pas comment le risque de cancer, de leucémie par exemple, peut être différent pour une personne de la population générale et pour un travailleur.

La deuxième source de variabilité, c'est à propos d'Hiroshima, Nagasaki, et c'est un problème vraiment compliqué. À l'heure actuelle, tout le débat dans le milieu épidémiologique porte sur le fait que les personnes qui ont survécu à Hiroshima et Nagasaki sont certainement différentes de celles qui sont décédées. Ce que je veux dire, c'est que les personnes qui ont survécu sont issues d'un processus de sélection et on ne sait pas quelles sont les conséquences de ce processus de sélection sur leur adaptabilité et sur leur adaptation à l'exposition à de très fortes doses flash puis à des doses moins fortes mais sur le long terme. Dans ces processus d'adaptation, il y a par exemple des processus de reconstruction de l'ADN pour lesquels nous sommes tous différents bien entendu : nous n'avons pas tous, si nous sommes exposés à la même chose, les mêmes capacités de reconstruction de notre matériel génétique ou d'adaptation de notre système immunitaire par exemple. On devrait donc aussi insister sur la nécessité de mieux comprendre ces processus d'adaptation.

Pour terminer, sur un problème que je connais bien et sur lequel j'ai beaucoup travaillé, à savoir le risque de survenue de leucémie à la Hague, on ne sait pas si les enfants qui ont eu des leucémies avaient des caractéristiques biologiques particulières qui les rendaient peut-être plus susceptibles que ceux qui vivaient dans les mêmes conditions et qui n'ont pas fait de leucémie.

Donc, quand on réfléchit à la santé, il faut garder en permanence à l'esprit ces processus qui font que nous sommes vivants, et si nous sommes vivants, c'est que nous sommes tous différents les uns des autres. Sinon, il y a longtemps que nous aurions collectivement disparu. Et que ces différences se caractérisent par des susceptibilités différentes à des expositions identiques.

[19] Ndlr : pour plus de lisibilité, cette intervention venue plus tard de la salle est placée à la suite des exposés sur le thème de la santé.

Deuxième partie : économie(s), emploi(s)

Au lendemain de la publication par la Cour des Comptes du rapport « Les coûts de la filière électronucléaire », ceux que l'on appelle les nucléophiles et les nucléophobes ont employé exactement la même expression : « le mythe s'effondre ». Avec une différence, toutefois : pour le ministre de l'industrie, le mythe des coûts cachés du nucléaire s'effondrait ; pour une candidate à l'élection présidentielle, c'est le mythe du nucléaire pas cher qui s'effondrait.

C'est autour et à propos de ce rapport que s'articulent les deux premières interventions de cette séquence, celle de Michèle Pappalardo, conseillère maître à la Cour, et celle de Serge Vidal, président de la commission économique du CCE d'EDF. Alain Gély (Pénombre) présente ensuite quelques réflexions sur la problématique de l'emploi, en s'appuyant notamment sur une étude de l'Insee Rhône-Alpes. Puis l'on passera enfin, si l'on peut dire, aux travaux pratiques avec Francis Rol-Tanguy, délégué interministériel chargé de la fermeture de la centrale de Fessenheim (au moment de la nocturne).

Tous les coûts rendus publics, chacun reconnaîtra les siens…

Michèle Pappalardo[20]

D'après un récent sondage portant sur 3 % des 444 pages du rapport de la Cour des comptes sur « le coût de la filière électronucléaire », ce rapport compterait entre 8 000 et 10 000 nombres, sans compter les numéros de pages. Nous remercions Michèle Pappalardo, qui est une des trois principales personnes responsables de ce rapport, d'avoir accepté de nous livrer des indications sur la façon dont ont été construits ces chiffres, leur apport et leurs limites ainsi que sur la manière dont ils ont été reçus et commentés.

Merci de me donner l'occasion de parler un peu de ce rapport d'une manière un peu différente de d'habitude. D'habitude, j'explique les chiffres, mais vous les connaissez tous par cœur, évidemment, vous avez lu tout le rapport, vous les avez même comptés, j'avoue que si j'avais fait le compte avant, j'aurais renoncé tout de suite, mais bon, voilà, on va dire que vous avez bien compté.

Alors, quelques mots donc sur l'origine du rapport, d'abord, puis je donnerai un résumé des conclusions, mais juste de manière littéraire, et puis nous essayerons de comprendre pourquoi tout le monde était si content quand le rapport est sorti. C'est intéressant, vraiment, de comprendre ce qui s'est passé.

L'origine du rapport

C'était juste après Fukushima. Il y a eu une demande de débat sur le nucléaire et sur l'énergie d'une manière générale, et en y réfléchissant un peu, notamment avec les ONG travaillant sur le sujet, on s'est rendu compte que c'était difficile de faire un débat avec le grand public alors que personne n'était d'accord sur aucun chiffre. Ça nous donnait un sentiment de confusion extrême. Il fallait d'abord travailler pour essayer d'être d'accord sur les chiffres avant de faire un débat public. C'était de bonne logique. Et tout le monde s'est mis d'accord sur ce point. Le Président de la République a reçu les ONG et il a été décidé de faire une étude indépendante sur ces fameux chiffres.

Alors, indépendance oblige… c'est tombé sur la Cour des comptes, voilà. C'était plutôt original parce que ce n'était vraiment pas un rapport « normal » pour la Cour. D'habitude, quand on fait un rapport, vous le savez bien, on critique, on essaye de faire des recommandations, on essaye de vérifier si ça coûte trop cher ou pas assez cher, et là, nous n'avons rien fait de tout ça. On a juste essayé, et ça nous a pris quand même un certain temps, de savoir combien ça coûte. Il faut passer par là pour savoir si ça coûte trop cher, pas cher, tout ce que vous voulez, mais on s'est concentré uniquement sur cette question-là, qui était celle qu'on nous avait posée, d'ailleurs, mais en fait, ce rapport est un peu original.

Donc l'objectif, c'était de répondre à une demande du premier ministre, puisque c'était une saisine du premier ministre à la Cour, ce n'était pas très classique, d'ailleurs ça n'existait même pas, cette possibilité, au moment où il a posé la question. On a changé la loi pour que maintenant le Gouvernement puisse nous saisir de manière tout à fait normale en application des textes.

[20] Conseiller maître à la Cour des comptes.

On s'est concentré sur l'analyse de tous les éléments qui constituent le coût de production de l'électricité nucléaire en France en 2011 ou 2010 (c'étaient les chiffres de 2010), et uniquement sur ça. Donc, pour un sujet de la Cour des Comptes, c'est tout petit, en fait. Donc on ne s'est pas préoccupé des conditions de financement, ni des dispositifs de prix, des tarifs, qui sont les sujets sur lesquels d'habitude nous travaillons. On s'est placé à production électronucléaire constante, on n'a fait aucune simulation, aucune hypothèse d'augmentation, qui sont des réflexions qui ont lieu maintenant dans le débat, et qui n'avaient pas lieu d'être dans notre rapport, et on n'a pas fait de comparaison avec les autres formes d'énergie, ce qui aussi se fait traditionnellement, et qui fait qu'assez vite on oublie de partir du vrai coût pour ensuite commencer à faire des comparaisons. Ça ne portait que sur une toute petite part du coût de l'électricité nucléaire, puisque la production, c'est de l'ordre de 40 % du coût global et il faut ajouter les taxes, les redevances et tout ce qui concerne le transport et la distribution.

Une méthode de travail originale

Les méthodes, maintenant en quelques mots…

En fait, on a essayé d'appliquer, ça n'était pas original, les méthodes de la Cour des Comptes, c'est d'ailleurs pour ça qu'on nous l'avait demandé, c'est-à-dire chercher les sources, les documents, les comptes, c'est ce sur quoi on travaille habituellement, se tenir vraiment à des informations vérifiées, vérifiables, et qui n'étaient pas faites pour nous, mais qui existaient dans l'absolu. Utiliser les deux méthodes importantes de la Cour qui sont la contradiction et la collégialité. La collégialité, ça veut dire que quand quelqu'un a fait un rapport, avant de le publier, la Cour elle-même travaille sur le rapport qui est présenté par des rapporteurs, le valide, vérifie s'il est compréhensible, déjà, et puis si on a bien suivi les bonnes méthodes. Puis la contradiction, c'est-à-dire qu'on a donné tout ça aux différentes entreprises qui étaient concernées pour être bien sûrs que les chiffres qu'on donnait, ils les reconnaissaient. . Et puis, la confidentialité du rapport, c'est un point important, c'était une demande du Gouvernement, mais on dit que la Cour publie sans demander l'avis de personne, le jour même où on l'a remis. Il n'y a pas de possibilité de penser qu'éventuellement quelqu'un l'aurait corrigé quelque part. Et une spécificité du rapport, c'est qu'on a mis quinze rapporteurs sur le sujet. Ça, c'est extrêmement original : d'habitude, quand on est trois ou quatre, on est content. Là, on a mis quinze rapporteurs pendant quatre mois à travailler sur le sujet.

On a, et c'est très original aussi, créé un comité d'experts qui nous a accompagnés pendant toute la démarche, parce que nous ne sommes pas des spécialistes de l'énergie et du nucléaire, parce qu'on voulait être sûr de ne pas dire de bêtises, ce qui aurait perturbé la compréhension et mis un doute sur ce qu'on disait en matière de comptes, et ça a été vraiment très intéressant de mettre ensemble des pro, des anti, des juristes, des économistes, des ingénieurs, il y en avait une petite quinzaine qui nous ont suivis et ça a été, je pense, très utile pour tout le monde.

Le rapport lui-même a été fait en 8 mois, ça aussi c'est un délai extrêmement court, et on a auditionné, ce qui était très original aussi, mais on devrait le faire plus souvent, les ONG et les syndicats au début du travail, pour essayer de comprendre quels étaient les questionnements et à quoi il fallait qu'on réponde avec notre rapport au-delà de la question qui était posée par le Premier Ministre.

Donc ça c'étaient les méthodes qu'on a essayé d'utiliser, qu'on a utilisées.

Les conclusions du rapport

Les principales conclusions en quelques mots, je ne vais pas me perdre dans les chiffres, ce n'est pas la peine :

Première conclusion : Il n'y a pas de coûts cachés.

On a cherché à vérifier si les coûts passés, présents et futurs étaient bien pris en compte dans la manière dont on calcule le coût de production du nucléaire actuel dans les réacteurs actuels. Et on a constaté effectivement que dans les coûts, il y avait bien des coûts passés, des coûts présents et des coûts futurs. Et on a bien entendu regardé les coûts dans les comptes des exploitants, et on a été plus loin, c'est-à-dire qu'on a essayé de mesurer les coûts supportés par les crédits publics et qui ne sont pas pris en compte dans les coûts des exploitants, notamment le coût de la recherche.

Donc on a chiffré, ça aussi, c'était quelque chose qui n'avait jamais été fait, on a chiffré le coût de la recherche publique sur le nucléaire depuis 55 ans, et on a trouvé, ça c'est un chiffre que vous pouvez retenir, 1 milliard par an depuis 55 ans (en milliards d'euros 2010, bien entendu tout ça a été remis en euros 2010).

Donc ça c'était la première conclusion, alors bien sûr, il y a plein de chiffres derrière tout ça, mais je passe…

Deuxième conclusion : il y a des coûts futurs sur lesquels il y a des incertitudes.

Les coûts passés, c'est facile, on les connaît, on les additionne, on fait ce qu'on veut avec… Les coûts présents, de fonctionnement, ça n'est pas difficile non plus, ce sont les comptes actuels. Les coûts futurs, forcément, il y a un certain nombre d'hypothèses, un certain nombre d'incertitudes sur les charges de démantèlement, c'est bien évident : les charges de démantèlement, on a essayé de comparer les chiffres d'EDF avec ceux d'autres pays, d'autres exploitants à l'étranger… On a constaté qu'il y avait un rapport de 1 à 3 entre les chiffres les plus bas parmi lesquels il y a ceux d'EDF (mais il n'y a pas que ceux d'EDF) et les chiffres les plus hauts, qui viennent notamment d'un des chiffrages allemands, donc on s'est dit qu'il y avait beaucoup d'incertitude sur ce chiffre, mais pas que chez nous, visiblement…

On a regardé aussi les coûts de gestion des combustibles usagés, qui sont aussi des coûts futurs, mais sur lesquels on a moins d'incertitude puisque ce sont des choses qu'on fait déjà aujourd'hui ; on est parti du principe que là, il n'y avait pas trop d'erreur. Et puis les coûts de gestion à long terme des déchets, là c'est pareil, on ne l'a encore jamais fait. Il y a des travaux de recherche, menés notamment par l'ANDRA, qui essaient de chiffrer le coût de ce que j'appelle le trou dans lequel on va mettre tous ces déchets. Et on a deux devis : on a le devis qui est inscrit dans les comptes qui tourne autour de 12 ou 13 milliards, et puis on a un nouveau devis de l'ANDRA qui est du double. Donc on a de grosses incertitudes et ça, c'est la deuxième conclusion.

Première conséquence, si on a des incertitudes, essayons de mesurer quelle est la sensibilité du coût moyen de production sur l'évolution des charges futures ? Nous nous sommes dit : si on double le coût du démantèlement (imaginons qu'on se soit trompé d'un facteur 2) quel est l'impact sur le coût ? L'impact est de 5 % : vous doublez le coût du démantèlement, ça augmente le coût moyen de production de 5 %. Pour la gestion des déchets, le doublement du devis, c'est un impact de 1 %, et le taux d'actualisation, je passe, si vous passez d'un taux de 5 % à 4 %, il y a

possibilité d'utiliser des chiffres différents, vous avez un impact de 0,8 %. Je ne vous donne pas ces chiffres ici pour que vous les reteniez, juste pour que vous voyiez que les impacts ne sont pas extrêmement importants.

Cela a été nos principales conclusions, il y en a d'autres, mais je vais passer : ce n'est pas relié coûts directement.

On est arrivé à la conclusion qu'en fait, on avait les chiffres. Maintenant, est-ce qu'avec ces chiffres, on est capable de calculer le coût sans aucun problème, sans aucune difficulté, comme si de rien n'était ?

Non, parce que en fait, ce qu'on a essayé de montrer- ça a été difficile, y compris chez nous, d'ailleurs - parce que assez vite on en oublie, le coût dépend de la question que vous posez. Et c'est important de savoir quels sont les chiffres, mais après, comment vous les additionnez, vous les divisez, quelle part vous prenez, quelle part vous ne prenez pas, ça dépend de la question qu'on pose.

Donc on a essayé de montrer qu'il y a au moins 3 chiffres (il y en a plus que ça, mais on va dire qu'on simplifie) :

- si vous prenez le coût comptable, c'est-à-dire en tenant compte du fait que les réacteurs sont pas mal amortis aujourd'hui, puisqu'ils ont 25 ans sur 40 ans de durée d'amortissement, vous arrivez (je vous donne des ordres de grandeur) à un coût de 33 euros par mégawatt heures ;

- si vous prenez ce qu'on appelle la méthode Champsaur, qui est utilisée dans le cadre de l'ARENH (accès régulé à l'électricité nucléaire historique[21])*, vous arrivez à un chiffre qui est à peu près du même montant ;

- et si vous preniez la méthode que nous avions utilisée, qui est la méthode du coût courant économique, vous arriviez à un chiffre qui tournait aux alentours des 50 euros.

Pourquoi ?

Avec le coût comptable, qu'est-ce que vous faites ? Vous imaginez finalement que vous allez récupérer un parc à la valeur initiale, sans tenir compte de l'inflation. Pourquoi pas ? C'est une méthode de calcul. Mais si vous utilisez ce coût comptable, qu'est-ce que vous allez obtenir à la fin des 40 ans de durée de vie (je passe sur le problème de la durée de vie, même si c'est un vrai sujet) ?

Si vous prenez la méthode Champsaur, vous faites le calcul, vous faites un calcul qui va bien, mais seulement sur les années qui restent, donc sur les 15 années qui restent sur les 40. Vous trouvez ce coût de 33 euros par mégawatt heures.

Et nous ce qu'on a pris, on a fait l'hypothèse qu'on faisait le calcul de manière à ce que à la fin des 40 années, avec le coût tel qu'on le prenait, puisque c'est le coût du capital qui est le plus important, on récupère un parc initial, mais en tenant compte de l'inflation .Mais sans tenir compte de l'évolution, ni de la technologie, ni des règles de sécurité, donc en fait, vous ne reconstruisez pas quelque chose d'aujourd'hui, et le même nombre de réacteurs, avec les moyens que vous mettrez dedans. Je ne le traiterai pas. C'est juste pour vous montrer que le calcul des coûts dépend beaucoup de la question qu'on pose.

[21] L'Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique (ARENH) est un droit pour les fournisseurs d'acheter de l'électricité à EDF à un prix régulé et pour des volumes déterminés par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE).

Tout le monde est content

Et donc tout le monde était content, finalement quand on a eu fini…

Je crois que c'est surtout grâce à la méthode. Parce qu'on a tout mis sur la table, c'est pour ça que le rapport est gros, et qu'il y a autant de chiffres dedans, tous les chiffres qu'on avait trouvés et qu'on avait vérifiés, de manière à ce que tout le monde puisse faire son calcul en se posant sa question et en utilisant sa méthode. Nous, on était clair sur la méthode, on était clair sur les chiffres, mais après, vous pouvez diviser, vous pouvez additionner et faire vos hypothèses… Et je pense que c'est ça qui a fait que les uns et les autres étaient contents. En fait, on a une grosse base de données, plus un rapport, comme je vous le disais, celui de la Cour.

Les pro nucléaires étaient contents parce qu'on disait que tous les coûts étaient bien pris en compte, et qu'on n'oubliait pas les coûts futurs, et que finalement à la fin, le coût, même si c'est 50 euros par MWh, ce n'est quand même pas élevé par rapport à d'autres formes d'énergie.

Les anti-nucléaires, eux, ils étaient contents aussi, parce que finalement on trouve un coût qui est plus élevé que celui qu'on utilise habituellement (ou qu'on utilisait habituellement) et surtout on montre qu'il augmente et qu'il va encore augmenter (je suis passé un peu vite sur cette partie des conclusions, mais voilà…). On dit aussi que le coût de l'EPR est sensiblement différent de celui qu'on a calculé pour les réacteurs actuels et qu'il sera supérieur. On est incapable de le calculer, parce qu'on n'a pas de contrôles *a posteriori*, et donc on a un problème. Et puis on mettait en avant aussi le problème de l'assurance qui n'est pas dans le coût aujourd'hui, puisque on n'assure pas la responsabilité civile en matière de nucléaire. Donc ça, c'était tout ce qui fallait pour plaire aux anti-nucléaires.

Pour EDF, elle était contente aussi parce qu'on obtenait un coût qui était supérieur à celui de l'ARENH, et que, dans son débat avec le Gouvernement et les tutelles, ça, ça lui faisait plaisir.

Du côté de l'État aussi parce que nous, nous n'avons pas dit que l'ARENH devait être calculé sur la base de notre coût complet économique, puisque, là, je ré-insiste, ça dépend de la question qu'on pose. Si on cherche à calculer ce qu'on calcule dans l'ARENH, le calcul n'est pas faux, et si on cherche à calculer ce que nous nous cherchons, c'est à dire un coût moyen sur les 40 années des centrales, notre coût nous paraissait bon.

Voilà, donc en conclusion, juste un mot : être très attentif au fait qu'il n'y a pas un coût dans l'absolu, le coût dépend de la question que vous posez, et l'intérêt du rapport, outre le fait d'avoir mis à disposition tous ces chiffres, c'est d'obliger chacun aujourd'hui à préciser de quel coût il parle quand il lance en l'air un chiffre. Et donc faites très attention, rappelez-le à tout le monde à chaque fois que vous voyez un chiffre, demandez ce qu'il essaie de mesurer et puis, dernière remarque, il faut actualiser tous ces chiffres, puisque bien sûr ils vont se périmer assez vite, et ça, c'est une inquiétude que j'ai, c'est qu'on les laisse devenir obsolètes, ce serait dommage.

Des coûts aux prix

Serge Vidal[22]

Dans une réponse à la réponse de la commission de régulation de l'énergie, la Cour des comptes (citation) : « confirme que la perspective dans laquelle elle se place n'est évidemment pas tarifaire. » Il y a, effectivement, loin des coûts aux prix, et plus encore des coûts de la filière électronucléaire aux factures d'électricité payées par les usagers. Serge Vidal va nous éclairer (gratuitement !) sur cette question.

Tout d'abord un mot pour dire d'où je parle, je suis un syndicaliste CGT de l'industrie nucléaire. Je remercie *Pénombre* pour cette soirée, le nucléaire est un domaine tellement polémique que tous les chiffres y sont contestés et en général les protagonistes ne se rencontrent pas et encore moins ne se confrontent sereinement.

Premier élément de contexte, avant l'ouverture à la concurrence de la production électrique, qui est intervenue progressivement durant la première décennie 2000, les coûts de revient et leurs calculs étaient assez transparents. Maintenant tout a changé, c'est une donnée tellement secrète qu'elle est parfois difficile à établir par les comptables des entreprises eux-mêmes.

Les coûts de revient sont importants, car les tarifs électriques règlementés en dépendent et aujourd'hui il y a une grosse pression pour qu'ils augmentent fortement. Pression des entreprises pour couvrir des investissements nécessaires et aussi des dépenses inutiles, pression des actionnaires pour maintenir ou accroître leur marges qui ont explosé avec la dérèglementation du secteur, pression des tenants des énergies concurrentes plus chères, fossiles, éoliennes, photovoltaïques, etc. pour qu'elles deviennent compétitives, pression des tenants d'une sortie du nucléaire qui misent sur des tarifs électriques élevés comme outil de réduction des consommations électriques et enfin, le prix de vente des réacteurs nucléaires est un enjeu important à l'exportation.

Je vais apporter un point de vue qui détone par rapport à toutes ces pressions souvent convergentes, parfois de façon improbable.

Tout d'abord, pour être clair, il faut signaler que le prix de l'électricité ne se résume pas au nucléaire ; il y a aussi l'hydraulique, qui est moins chère, et les autres renouvelables ainsi que les fossiles, qui sont plus chères. En outre, il existe aujourd'hui deux prix pour l'électricité : d'une part, il y a le prix du marché (PM) qui varie en fonction de l'offre et de la demande, ce qui du point de vue de l'électricité est source de grosses spéculations ; et, d'autre part, il existe un tarif réglementé de vente (TRV). Le TRV, qui dépend des coûts du nucléaire et des autres sources d'énergie, est différent suivant que l'on est particulier, professionnel ou industriel. Il est en gros composé de trois parties, la partie énergie, celle dont on va surtout parler ce soir, la partie réseaux et la partie taxes et impôts. Au passage, il n'y a pas que l'essence qui est taxée.

[22] Président de la commission économique du Comité central d'entreprise d'EDF

exemples	**Prix du marché (PM)**	**Tarif règlementé de vente (TRV)**	
		Particulier (tarif bleu) (32% de la consommation)	Industriel(tarif vert) TTC
Partie énergie	60 € (volatile) (39 %)	53 € (37 %)	47 € (49 %)
Partie réseau (TURPE)	44 € (32 %)	44 € (30 %)	18 € (19 %)
Taxes, contributions et impôts	48 € (28 %)	47 € (33 %)	30 € (32 %)
Total	153 € (100 %)	144 € (100 %)	95 € (100 %)

À la CGT nous revendiquons la définition des tarifs à partir des coûts mais dans la transparence et nous ne nions pas la nécessité d'anticiper les dépenses futures.

Ceci étant, la publication du rapport de la Cour des comptes de janvier 2012 a été un évènement, notamment du fait de l'opacité dont j'ai parlé tout à l'heure. C'est un rapport qui fournit beaucoup de données. C'est un rapport qui fait référence sur le sujet, à juste titre, mais il est aussi contestable sur certains. Je vais me concentrer sur ces points.

La première caractéristique de ce rapport, c'est qu'il fait 444 pages et que peu de monde ne l'a lu, d'où certains commentaires hâtifs, parfois un peu suscités par les conclusions du rapport.

Premièrement, son domaine de couverture, il concerne le coût complet du parc électronucléaire actuel, c'est-à-dire qu'il n'analyse pas le coût du nucléaire futur. Il ne concerne donc pas le nouveau réacteur EPR. Il rappelle sur le sujet simplement certaines données d'EDF, qui au passage sont différentes de celles d'AREVA. Il aurait sûrement mieux valu ne pas mettre ces données dans le rapport hors domaine de couverture car j'ai entendu des premiers responsables d'EDF dire publiquement "voici le coût en € du MWh de l'EPR, c'est la Cour qui le dit dans son rapport".

Pour revenir au rapport, il traite du coût complet, c'est-à-dire des coûts payés par l'usager et des coûts payés par le contribuable et donc, comme il l'indique, il ne vise pas à définir un prix. Mais patatras, Mr Proglio, PDG d'EDF, s'appuie dessus pour revendiquer un nouveau tarif.

	$€_{2010}$ / MWh	écart
Coût comptable (avec amortissement sans rémunération du capital)	33,4	
Coût comptable (avec grand carénage)	38,2	+4,8 (14%)
Coût à date (en fonction de ce qui est déjà amorti)	33,1	
Coût comptable complet de production (avec amortissement, rémunération et coût du remplacement)	39,8	+6,7 (20%)
Coût courant économique (avec loyer économique sans référence historique)	49,5	+9,7 (24%)
Coût courant économique (avec grand carénage)	54,2	+4,7 (9%)

En fait la Cour donne cinq coûts, 33,4 € / MWh, 33,1 € / MWh, 39,8 € / MWh, 49,5 € / MWh et 54,2 € / MWh, excusez des écarts, et retient au final celui à 49,5 € / MWh avec plein d'hypothèses. Actuellement, le tarif retenu par le régulateur pour le nucléaire historique est de 42 € / MWh et, en interne, la part énergie se traite aux alentours de 38 € / MWh.

Le rapport traite et distingue les coûts passés et les coûts présents qui ne donnent pas lieu à ma connaissance à beaucoup de contestation et traite des coûts à venir qui, eux, donnent lieu à des fourchettes. Ensuite, comme il s'agit d'une activité très capitalistique et que l'on intègre tout depuis les recherches initiales jusqu'au démantèlement final, les hypothèses d'étalement dans le temps des milliards comptabilisés sont importantes. Les résultats dépendent donc de l'hypothèse d'actualisation du capital retenu.

Ensuite le rapport rajoute une marge de 7,8 % par an. Les auteurs du rapport disent eux-mêmes que le résultat obtenu est très dépendant de cette hypothèse. Pourquoi alors ne publient-ils pas d'étude de sensibilité sur cette valeur ? J'admets qu'une certaine rémunération du capital est justifiée, notamment en fonction de la prise de risque, mais quand on se sert de ce rapport pour fixer le prix, on instaure avec un tel chiffre une marge garantie sans risque et donc à mon avis excessive. Cette question centrale des marges bénéficiaires pose aussi la question de la relation entre EDF et l'État. Il ne faut pas sacrifier le rôle accru qu'à mon avis EDF devrait jouer pour le pays en en faisant une vache à lait pour le budget de l'État.

Coût total du parc nucléaire		*Mds € 2010*	
Coûts passés	**(réacteurs, filière, recherches)**	**96**	*75%*
Coûts annuels	**(fonctionnement, combustible, recherches, déchets)**	**10**	*8%*
Coûts futurs	**(démantèlement)**	**22**	*17%*
	Total	**128**	

Coût par an du parc nucléaire	*Mds € 2010*	
Investissement de maintenance	**1,7**	*9%*
Exploitation	**10**	*50%*
Coût d'utilisation des actifs	**1,8**	*9%*
Loyer économique Cour des comptes	**6,5**	*32%*
Total	**20,1**	

Actualisation

Autre opération délicate le passage des milliards aux euros par MWh. Pour cela, Il est nécessaire de définir le dénominateur, le nombre de Wh produits par les installations et la durée d'actualisation. La Cour fait les calculs sur 40 ans tout en disant en conclusion que, comme 22 réacteurs auront atteint cet âge en 2022 et que la substitution ne sera pas au rendez-vous, il est très probable qu'ils produiront plus longtemps. Pour s'affranchir de cette hypothèse pénalisante, la Cour sort du chapeau un loyer économique censé être indépendant de la durée de vie des installations. Je dis que ce loyer économique est sorti du chapeau, car à mon avis, il n'est pas possible à partir du rapport publié de se faire une opinion sur les hypothèses prises pour le calculer. Or ce loyer donne un résultat de 25 % supérieur au coût comptable complet, lui assez proche du tarif actuel.

Pour conclure, un mot de la prise en compte des opérations que l'on appelle à EDF le grand carénage. Pour porter la durée de fonctionnement des réacteurs à 60 ans, EDF procède, et surtout prévoit de procéder, à des améliorations et à des remplacements de beaucoup de matériels sur les

réacteurs actuels. Ces opérations étaient évaluées à 50 milliards d'euros sur 15 ans. Suite à l'accident de Fukushima, des exigences nouvelles sont apparues, mais une partie de celles-ci, évaluées à 10 G€, était déjà prévue dans le programme précédent. Donc le coût total est de 50 + 10 – 5, soit 55 milliards €, pour une partie réalisées plus rapidement que prévu.

Au passage, je signale que la CGT revendique plus en matière de sûreté, notamment en termes de statut de salariés sous-traitants, et accepte que cela augmente les coûts. Pour arriver à 54,2 € / MWh la Cour intègre ces 55 milliards d'euros mais sur 40 ans alors qu'on a vu que la plus grande partie de ces opérations étaient liée à une période de fonctionnement supérieure à cette durée. Pour illustrer, on voit bien que si on fait tout ce qui est prévu sur la centrale de Fessenheim avec un amortissement sur 3 ans, ça ne donne pas la même chose que si on amortit sur 25 ans, ce qui pourrait être la durée de fonctionnement restante pour cette centrale.

Après les coûts, l'emploi : étude d'impact

Alain Gély (Pénombre)

Le nucléaire : 100 000 ou un million d'emplois ? Ce sont, apparemment, les évaluations extrêmes annoncées au niveau national.

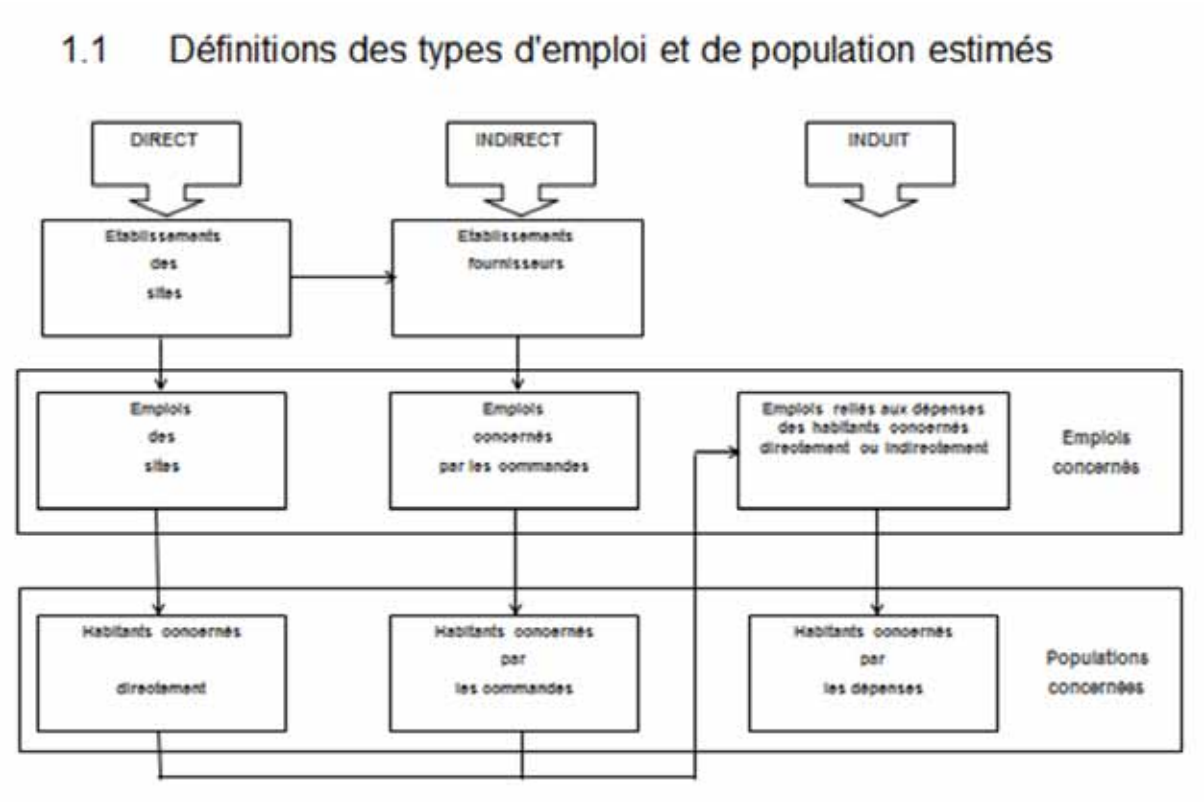
Mais, première et principale question : de quel emploi parle-t-on ?

Pour tenter d'y voir clair, on utilisera des extraits d'une étude réalisée par la direction régionale de l'Insee Rhône-Alpes en coopération avec la DREAL de cette région. Il s'agit de ce que l'Insee appelle une étude d'impact, ou encore d'inscription territoriale.

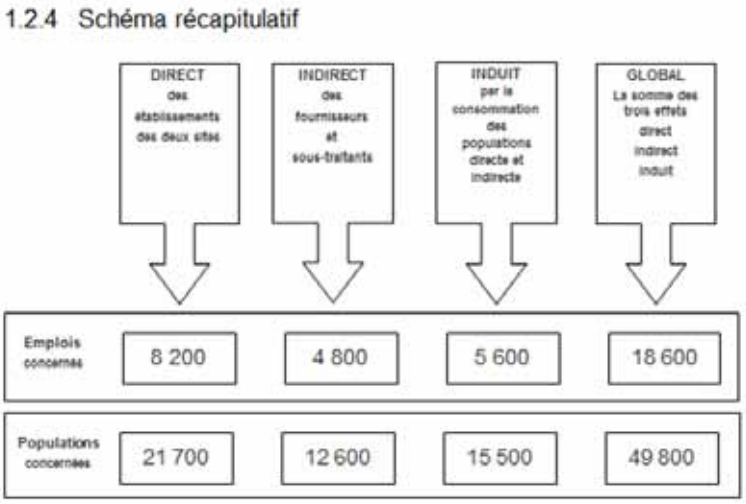
Ce qu'on peut appeler le noyau central de l'emploi, c'est l'emploi direct en équivalent temps plein, c'est-à-dire l'emploi, pour une année donnée, dans les entreprises – ou de préférence les établissements – dont l'activité principale ressortit au champ de l'étude.

Ensuite, les emplois dits indirects, ceux que l'on trouve chez les fournisseurs, sous-traitants et prestataires de services de ces établissements.

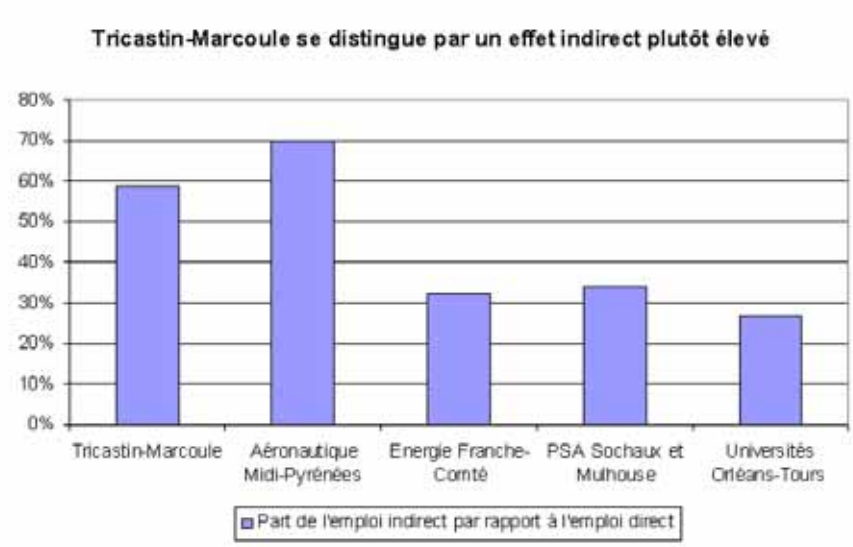
Enfin, les emplois induits. J'éviterai, s'agissant du nucléaire, d'employer le terme de « retombées » économiques que l'on rencontre parfois, mais c'est l'idée. Les emplois induits sont en effet les emplois générés, notamment, par les dépenses de consommation des salariés et de leur famille, par exemple chez les commerçants et artisans du bâtiment. Une estimation des populations concernées est effectuée en même temps.



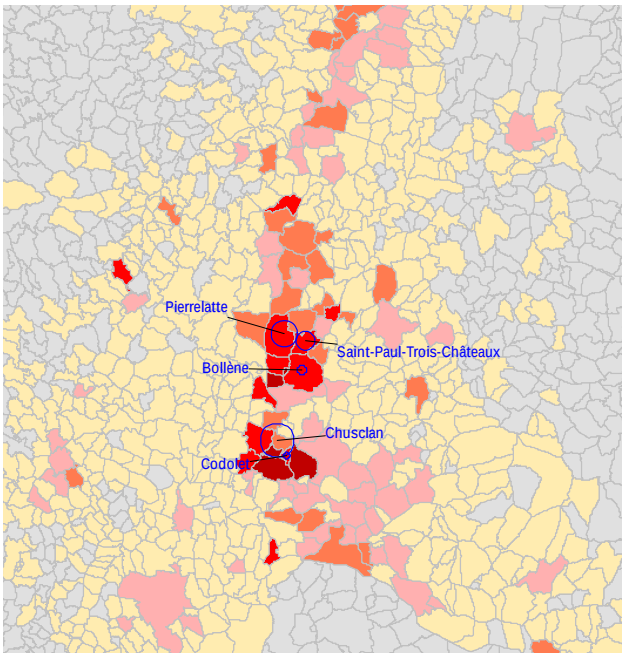
Voyons ce que cela peut donner au niveau local. Ici, l'emploi direct est le nombre de salariés des établissements des groupes AREVA, EDF et CEA sur les deux sites du Tricastin et de Marcoule...



Des études similaires ont été réalisées dans de nombreuses régions et sur des domaines aussi variés que l'aéronautique en Midi-Pyrénées, l'établissement Nestlé de Saint-Menet à Marseille ou l'autoroute A19 dans le Loiret... Elles s'appuient sur une enquête spécifique, d'abord auprès des établissements « chefs de file » pour repérer leurs fournisseurs et sous-traitants puis auprès de ces derniers pour y évaluer l'emploi. On sait alors où, commune par commune, se trouvent les emplois directs et indirects puis les emplois induits et la population. Ces études suivent une méthodologie commune, qui permet donc des comparaisons. On voit par exemple que l'impact territorial de Tricastin-Marcoule est plutôt élevé.



Cette inscription territoriale peut être appréciée commune par commune.



La mobilisation du recensement de la population et d'autres sources permet d'enrichir le diagnostic : impact sur la fiscalité locale, qualité de l'emploi, migrations... :

- *Le territoire impacté par l'activité des sites compte plus de 400 000 habitants.*
- *Son peuplement est dense mais peu concentré.*
- *Les sites y ont marqué le rythme de son développement démographique.*
- *Ils ont renforcé le caractère urbain de la zone en un réseau de villes petites et moyennes*
- *Ils procurent à cette zone un fort secteur industriel qui a maintenu son volume d'emploi.*
- *Ils y apportent un emploi stable et des revenus élevés.*

Mais ce territoire montre aussi certaines fragilités :

- *Les sites apportent un emploi stable sans répondre suffisamment à la demande nouvelle et locale.*
- *Le chômage des jeunes y est important.*
- *Les déplacements domicile-travail s'étendent vers Avignon et Nîmes.*
- *Les emplois de cadres semblent pourvus par des arrivées de l'extérieur (Paris en particulier).*

Revenons au niveau national. L'étude la plus citée est sans doute celle de *PwC* pour Areva[23] sur l'année 2009. Il y aurait 450 entreprises employant directement 125 000 personnes et indirectement 114 000 autres. L'électronucléaire générerait au total un peu plus de 400 000 emplois en comptant aussi les emplois induits.

125 000, c'est assez proche des estimations minimum qui se situent aux alentours de 100 000. Mais 400 000 c'est loin du « million de Proglio », c'est-à-dire du million d'emplois qui seraient, selon le PDG d'EDF, mis en péril par une sortie du nucléaire. Cette estimation découle d'une définition, disons, fort large de l'emploi induit ! S'ajouteraient aux 400 000 de l'étude précédente, la « non-création » de 100 000 emplois espérés et surtout 500 000 emplois qui seraient conduits à se délocaliser hors de France. Ces délocalisations résulteraient notamment de l'augmentation des prix de l'électricité que susciterait la disparition totale de la filière électronucléaire. Il est sans doute inutile de préciser que ces chiffres ne recueillent pas un consensus total...

[23] http://www.pwc.fr/lelectronucleaire-en-france-125-000-emplois-directs-et-une-contribution-au-pib-de-071-en-2009.html

Travaux pratiques

Francis Rol-Tanguy[24]

Les démographes prennent souvent l'âge de 35 ans comme référence pour calculer l'espérance de vie par catégorie socioprofessionnelle, censément stabilisée à cet âge. Trente-cinq ans, c'est l'âge de la centrale de Fessenheim, pour laquelle la question de, disons, « l'arrêt du cœur » est programmée. On ne poussera pas plus loin le parallèle, probablement peu pertinent, entre l'espérance de vie des personnes et la durée de vie des centrales. On se risquera encore moins à esquisser une opposition entre partisans, pour les centrales nucléaires, de la « peine de mort » et adeptes d'un « acharnement thérapeutique ». Mais la question de cette durée de vie est tout à fait… centrale aussi bien en termes de coûts que d'emploi et de sécurité. Francis Rol-Tanguy fait quelques remarques à ce propos.

Jean-René Brunetière : On va peut-être faire maintenant des travaux pratiques. Francis Rol-Tanguy qui est chargé de conduire la fermeture de Fessenheim qui a été décidée par le Gouvernement va peut-être nous dire comment ces coûts s'appliquent dans le cas de cette centrale. Cela coûte combien de la fermer ?

F. R.-T. : D'abord deux mots d'introduction. Je ne suis pas chargé de conduire à son terme la fermeture de Fessenheim. Seul l'exploitant actuel EDF pourra faire cela correctement sous le contrôle de l'ASN. Je pense que c'est une bonne chose que cela ne soit pas moi qui en soit chargé. Je suis chargé de négocier le protocole d'accord entre l'État et EDF qui permettra de passer à des phases techniques et à ce moment-là, il sera temps que je me retire. Sur les coûts de démantèlement, je crois que dans le rapport de la Cour des Comptes il y a des chiffres à la fois sur la base d'expériences et sur la base de projets ; il y en a sur la base du démantèlement du premier prototype des cinquante réacteurs à eau chaude qui est actuellement en phase avancée. Je n'ai pas de chiffres à donner et il est clair que ce sera la première fois [à Fessenheim] que l'on démantèlera un de ces réacteurs de la deuxième génération française dont 56 existent, qui ne sont pas tout à fait tous pareils sur le plan de la puissance, mais c'est le même procédé. Donc cela permettra de mettre de vrais chiffres sur la table par rapport aux estimations actuelles, mais en sachant pertinemment que dans les estimations de délais vraisemblables, l'idée est que l'on aura un décret qui permettra le démantèlement fin 2016 et donc qu'il ne se passera pas grand-chose dans les trois ans qui suivent et qu'après, d'après les estimations étrangères, il faudra 25 ans. Donc on ne va pas avoir tout de suite des chiffres pour contrôler ceux de la Cour des Comptes…

Je voulais donner deux coups de projecteurs. Le travail engagé depuis un peu plus de trois mois ne me met pas en capacité, ce n'était pas l'objet de ma venue, de refaire le travail comme la Cour des Comptes l'a fait. Je voudrais juste attirer l'attention sur deux éléments qui me paraissent assez essentiels et qui sont venus dans le débat public.

C'est d'abord la question de la durée de vie des centrales. Elles sont autorisées aujourd'hui pour 40 ans. Cela veut dire qu'elles auront 40 ans entre 2017 et 2028 pour 80 % du parc actuel qui a été réalisé en dix ans entre 1977 et 1988. D'aucuns, à commencer par EDF, disent qu'on peut les prolonger à 50 ans, voire à 60 ans. Aux États-Unis, il y a des centrales qui ont été prolongées à 60 ans d'ores et déjà. Il y a des réflexions pour aller au-delà. La seule question sur laquelle je souhaite attirer l'attention, c'est que comme ce parc a été construit en dix ans, si on veut le renouveler, dans les données chiffrées d'EDF on parle de 300 milliards d'euros, je pense qu'aujourd'hui nous

[24] Délégué interministériel à la fermeture de la centrale nucléaire et à la reconversion du site de Fessenheim (avril 2013)

serions dans l'incapacité de reproduire ce qu'ont fait nos prédécesseurs dans les années 1970-1980. Cela veut dire que si on n'étale pas la sortie de ce parc actuel, on est juste en train de se mettre face à une montagne d'investissements. Quelle que soit l'énergie par laquelle on le remplace, uranium, éolien, solaire, c'est à peu près la même chose, si on n'étale pas dans le temps, on ne saura pas le faire. C'est un vrai débat public, parce que si on est d'accord avec ça, cela veut dire que si on repousse les centrales actuelles à 60 ans, on ira finalement au-delà. Or les centrales, c'est de l'acier et du béton, et c'est comme les arbres, ça ne monte pas jusqu'au ciel. Donc premier élément, si on ne l'étale pas en commençant maintenant, l'investissement est repoussé à plus tard. C'est plus agréable de penser sur le plan de l'investissement à une période allant de 2037 à 2048 et cela permet de beaucoup discourir…

La deuxième chose c'est que puisqu'on utilise beaucoup l'argument de compétitivité, en comparant le coût du nucléaire par rapport à d'autres énergies ou le coût en France par rapport au reste de l'Europe, il y a une loi électrique fondamentale à prendre en considération. Si vous voulez que tous vos appareils fonctionnent bien, il faut quasiment en temps réel et en permanence que la production soit égale à la demande. Sinon, le système ne fonctionne pas. Quand on voit comment a progressé la consommation dans les dix dernières années, on comprend les taux de disponibilité ou les taux de charge du parc nucléaire actuel. Le taux de disponibilité l'année dernière était autour de 80 %. C'est tellement singulièrement inférieur aux taux américains que cela peut poser une question (même si il y a aussi des considérations de sécurité). Notre taux de charge est encore inférieur : l'année dernière il était de 73 %. Ce sont les chiffres d'EDF. Ceci montre clairement pour moi qu'aujourd'hui il y a une surcapacité de production nucléaire qui fait qu'actuellement par exemple en décembre, d'habitude c'est une période de pointe mais le mois de décembre dernier [2012] a été plutôt doux au moins à la fin, on a arrêté dix réacteurs soit 20 % du parc.

Au nom du premier argument qui dit qu'il faut étaler et au nom du deuxième qui dit qu'on est clairement en surcapacité aujourd'hui, au-delà de convictions personnelles pro ou anti-nucléaire, sur la question des fermetures il faut avancer. On a fait le choix de Fessenheim, c'est parce que c'est la plus ancienne centrale. Il y a d'autres critères possibles, c'est celui-là qui a été retenu. On a là des arguments qu'il faut effectivement prendre en compte dans le cadre des engagements que la France a pris pour 2020 de se doter d'énergies renouvelables, de pratiquer une sobriété énergétique, de réduire l'émission des gaz à effet de serre. Si on prolonge encore les centrales actuelles, on ne fera pas l'investissement nécessaire et au-delà on prendra un risque si tant est qu'on n'en prenne pas aujourd'hui et nous avons un parc sous-utilisé. Dans n'importe quelle autre industrie que le nucléaire, on sait ce qu'on doit faire quand on est en situation de surcapacité. Sauf semble-t-il dans le nucléaire.

J.-R.B. : Et sur Fessenheim, ça donne quoi l'histoire des emplois ?

F.R.-T. : Alors deux petites choses. Pour le moment, on est en train de voir avec l'Insee comment réaliser une étude avec la même méthodologie que celle employée sur Tricastin ou Marcoule ou d'autres établissements et j'espère avoir les résultats à l'été. Deuxièmement, le CCE a fait réaliser une étude sur ce sujet qui chiffre l'impact sur l'emploi à peu près à un millier d'emplois directs et après on passe effectivement à l'emploi indirect ou induit sur lesquels des questions de définition peuvent se poser. Je pense que cette estimation des emplois directs, ceux de la centrale plus ceux des sous-traitants directs souvent intervenants sur la logistique, fournit le bon chiffre, je n'ai pas plus de commentaires à en faire. Après, il est vrai que lorsqu'on parle d'emplois indirects ou induits, c'est bien d'avoir des méthodologies qui permettent des comparaisons. Je n'ai pas pour le moment de commentaires précis en attendant l'étude de l'Insee. Peut-être validera-t-elle le travail fait par un consultant pour le CCE.

Troisième partie : les déchets et leurs mots

Faits et méfaits, la vraie vie des produits

Dialogue écrit et illustré par une équipe d'investigation pénombrienne[25] après une longue enquête.

- Dis, Françoise, le radium, c'est dans la poubelle bleue ou dans la verte ?

- La bleue : le radium c'est un FA-VL, on ne sait pas encore ce qu'on va en faire !

- Et j'ai un peu de plutonium, là, sur l'étagère, c'est dans laquelle ?

- Mais le plutonium, c'est pas un déchet, tu te le gardes…

- Ah bon ? OK… Mais mon mox usagé, là, je le garde aussi ? Il paraît qu'il ne sert qu'une fois…

- Non, celui-là non plus, ce n'est pas un déchet, tu le gardes, on ne sait jamais, ça pourrait resservir un jour quand même.

- Et le Neptunium que j'ai, là, il peut servir encore ?

- Ah non, celui-là c'est un déchet, et j'espère que tu l'as bien vitrifié parce que c'est un HA-VL. Mets-le dans la rouge, on ira la porter à Bure plus tard.

- D'accord. Et le césium, j'arrive pas à comprendre : (elle regarde deux guides de tri différents) *là je vois que c'est une vie courte, et là que c'est une vie longue, tu ne peux pas m'expliquer ? je m'y perds.*

- Bon, c'est vrai que c'est un peu compliqué, tous ces HA , ces FA, ces HAVL.On en reparlera tout à l'heure. Alors on reprend tout. D'abord, qu'est-ce que c'est qu'un déchet radioactif ?

Définition légale :

« Les déchets radioactifs sont des résidus provenant de l'utilisation de matières radioactives, dont aucun usage n'est prévu dans l'état actuel des connaissances et dont le niveau d'activité ne permet pas, sans contrôle, l'évacuation dans l'environnement. »

- « Aucun usage prévu », donc ce qui peut resservir un jour n'est pas compté comme déchet ?

- C'est ça, ça s'appelle des « matières valorisables ».

- Et on s'en ressert vraiment ? Parce que si on attend trop longtemps, à force, on va peut-être finir par en avoir pas mal sur les bras, non ?

- Oui, tu as raison. Tiens, prends l'uranium, par exemple. L'uranium naturel, celui qui provient de l'extraction, on l'enrichit, pour pouvoir s'en servir dans les réacteurs. Mais si on enrichit une partie, on appauvrit l'autre. Donc, il reste de l'uranium appauvri. Actuellement, on se ressert d'une toute petite partie, 1 ou 2 % environ. Le reste, ce sont des matières valorisables qui ne sont pas des déchets, mais dont on ne se sert pas. Au total chaque année, environ 7 000 tonnes d'après le rapport de la Cour des Comptes. Et à force d'avoir des restes chaque année, on finit par avoir pas mal de stock en réserve.

[25] Béatrice Beaufils, Françoise Dixmier, Michelle Folco, Marion Selz.

- Combien ?

- Voilà le tableau, tu vois, ça s'accumule. Il y a aussi des petits restes d'uranium qui proviennent du retraitement des combustibles usés.

Prévisions d'évolution des stocks d'uranium de retraitement et d'uranium appauvri en France (1)

En tonnes	Fin 2007	Fin 2020	Fin 2030
Uranium de retraitement	21 180	36 000	49 000
Uranium appauvri	254 820	332 324	452 324

Source : Inventaire national des matières et déchets radioactifs et PNGMDR 2010-2012

(1) : y compris les matières radioactives d'origine étrangère.

- Mais dis-donc, tu ne nous as pas parlé de 7 000 tonnes par an ? Donc de 2020 à 2030, ça ne devrait augmenter que de 70 000 tonnes. Il y a 50 000 tonnes de trop, non ?

- Bien vu ! Mais regarde la note, en bas : « y compris les matières radioactives d'origine étrangère ». Parce que la France retraite et enrichit pour l'étranger… Donc ça fait des stocks en plus.

- Mais ces stocks, ils ne repartent pas à l'étranger ?

- Non, ils restent ici, il y a des accords commerciaux pour tout ça.

- Mais je croyais que chaque pays devait garder ses déchets ?

- Eh là, mais attention, on ne parle pas de déchets, là, on parle de « matières valorisables »…

On pourrait par exemple réenrichir tout cet uranium appauvri, mais pour l'instant, on ne le fait pas. Et puis il paraît que l'uranium appauvri peut servir pour alimenter des centrales de « quatrième génération », la quatrième génération, on verra tout à l'heure ce que c'est. D'après le rapport de la Cour des Comptes, le stock d'uranium appauvri actuel suffirait pour alimenter ces nouveaux réacteurs « pendant plusieurs millénaires ».

- Ouaou ! plusieurs millénaires… Mais alors est-ce que c'est raisonnable d'en garder tant que ça ? Il ne faudrait pas en éliminer un peu ?

- Attention : on n'élimine pas, malheureusement, on entrepose ou on stocke...

- Ah ! oui, c'est vrai. Au moins, on pourrait en compter une bonne partie comme déchets, non ?

- Bon, c'est la définition, elle est comme ça.

- Mais finalement, elle n'a rien d'évident, cette définition. Je suis d'accord pour séparer et garder tout ce qui peut resservir, ça c'est normal, mais mes emballages en carton, mes bouteilles, on dit bien que ce sont des déchets, même si on les recycle.

- C'est vrai. Il faut bien une définition pour savoir de quoi on parle, mais suivant la définition qu'on choisit, les quantités varient. Et tout le monde ne fait pas pareil. Moi je t'ai donné la définition légale actuelle. Mais Greenpeace n'utilise pas cette définition. Ils comptent tout l'uranium appauvri comme déchet, par exemple. Et communiquent donc sur des quantités de déchets bien plus importantes… Et les 33 000 tonnes de déchets nucléaires de tout à l'heure, tu te rappelles, dans le jeu [page 9] ? Exportés par la France et entreposés à l'air libre en Sibérie… Pour certains ce sont des déchets, mais pour d'autres ce sont des matières valorisables, exportables, donc…

- Oui, c'est commode, mais avec la définition légale, si un jour on prévoit de ne plus faire d'énergie nucléaire, on se retrouvera avec des centaines de milliers de tonnes de matières qu'on ne va plus valoriser, et qui deviendront des déchets du jour au lendemain ?

- Eh oui, et il faudra les stocker. Pas évident… Le rapport dit « les ordres de grandeur des volumes considérés, s'il fallait considérer ces matières comme des déchets, sont de nature à modifier considérablement l'ampleur des projets de stockage. »

Les déchets radioactifs sont:

- ✓ **des résidus provenant de l'utilisation de matières radioactives dont aucun usage n'est prévu dans l'état actuel des connaissances**
- ✓ **le niveau d'activité ne permet pas, sans contrôle, l'évacuation dans l'environnement**

(Andra)

- Mais, dis donc, à la fin de ta définition tout à l'heure, tu as dit « et dont le niveau d'activité ne permet pas, sans contrôle, l'évacuation dans l'environnement »… ça veut dire quoi, ça ?

- Ça, ben ça veut dire qu'il y a des trucs radioactifs qu'on évacue dans l'environnement sans contrôle, c'est clair, non ?

- Quels trucs ?

- Mais les rejets des installations nucléaires. Tu sais bien, non ?

- Non, je ne sais pas. Les centrales ne rejettent rien de radioactif !

- Mais si… En fait on ne dit pas qu'elles rejettent de la radioactivité, on dit qu'elles « libèrent des effluents liquides ou gazeux ». Et chaque installation a droit à des niveaux de rejets spécifiques, ce n'est pas le même niveau pour toutes. Mais rassure-toi, ces niveaux autorisés sont « très inférieurs aux seuils de dangerosité ». Pourtant, la consigne est quand même de les réduire encore. Ils ne sont pas du tout dangereux, mais il faut quand même tout faire pour réduire le niveau…

Mais vous ne parlez que des déchets qui ne sont pas des déchets ! On pourrait peut-être quand même parler vraiment des déchets…

- Et, il y en a beaucoup de ces déchets ?

- En fait, c'est un peu compliqué ; on a du mal à s'y retrouver.

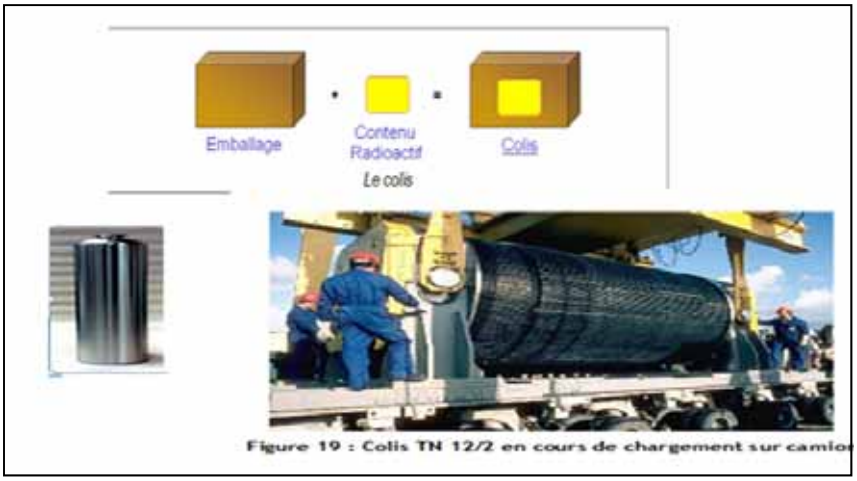
On parle de

- ❑ M^3
- ❑ Tonnes
- ❑ Litres
- ❑ Colis
- ❑ Emballages
- ❑ Assemblages
- ❑ Fûts
- ❑ Caissons
- ❑ Conteneurs
- ❑ Citernes
- ❑ Transports

- Donc, on s'y perd un peu

- Et, en plus, le même mot peut recouvrir différents objets !

Un colis par exemple :



Ça a l'air simple, comme ça, sur le haut de l'image ! Mais ça, c'est le principe ; en fait, il existe plein de colis différents et le gros du bas, à droite, ça m'étonnerait que la poste l'accepte.

Pour les m^3, c'est pareil. Pourtant, c'est simple, 1 m^3. Mais on trouve des vrais m^3, des m^3 équivalents conditionnés et des m^3 de stockage et le volume grossit à chaque fois pour la même quantité de déchets. On a du mal à s'y retrouver

Certains ont d'ailleurs trouvé un meilleur étalon ! le terrain de foot.

- Comment ça le terrain de foot ?

- Ecoute ce que j'ai trouvé : « Les colis de déchets correspondant à 40 ans de production des centrales actuelles pourront être entreposés dans des bâtiments dont la superficie ne dépassera pas 7 000 m^2, l'équivalent d'un seul terrain de football.

- C'est un gag cette histoire ?

- Non, non, …Certains mangent un peu la consigne et se trompent de sport. Une ingénieure de la Hague affirmait « Sous mes pieds se trouvent six ans de production française de déchets radioactifs. Mis côte à côte, le tout tient sur la surface d'un terrain … de handball »,

- Oui mais quand même c'est bizarre ! Dans ma cuisine, ma poubelle a trois dimensions, ce n'est pas une surface. Les déchets, ça fait du volume !

- Attends ! oui, voilà : « tous les déchets annuels tiendraient dans un parallélépipède ayant la surface d'un terrain de foot et environ 5 mètres de haut ».

Les canadiens parlent d'un monticule de la superficie d'un terrain de football et d'une hauteur de 2 300 pieds et ça fait 700 mètres.

Tiens, c'est marrant parce que, justement, à Gueugnon, tu sais la célèbre équipe de foot, et bien, on a trouvé des déchets nucléaires enfouis sous le terrain de foot justement et sous son parking. Pareil à Saint Pierre du Cantal. Drôle de retour à l'herbe !

- Oui, mais quand même, c'est pas très précis ton étalon. Les terrains de foot, ils n'ont pas tous les mêmes dimensions…

- Alors, j'ai mieux ! La piscine olympique, c'est pareil pour tout le monde 50 mètres de long, 25 de large et 2,5 de haut, soit 3 125m^3.

Ecoute : « les déchets produits par 58 réacteurs pendant quarante ans tiendraient dans « une piscine olympique » ! C'est Anne Lauvergeon qui l'a dit et Anne Lauvergeon, c'est pas une comique !

Depuis, la comparaison a fait florès

« À Bure, il y aura un volume équivalent à une trentaine de piscines olympiques » sans compter les emballages en béton.

« 1,15 million de mètres cubes de déchets radioactifs en France. Soit l'équivalent d'environ 385 piscines olympiques »

- Tu nous enfumes ! On a 1 piscine olympique, on en a 30 ou on en a 385 ? Ce que j'en conclus, c'est que, foot ou natation, le sport, c'est vraiment dangereux !

Bon allez, un peu de sérieux !

- Ce qu'il faut comprendre, c'est que ces déchets ne sont pas tous pareils ; on ne les mets pas tous ensemble.

L'agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, L'ANDRA, est chargée de répertorier tous les déchets radioactifs en France. Et pas seulement d'ailleurs ceux qui proviennent de nos 58 réacteurs, mais aussi de tous les machins qui trainent.

Elle les classe suivant deux critères : leur radioactivité, des moins toxiques aux plus toxiques et leur période. La période, j'ai un peu révisé mes cours de chimie, c'est le temps nécessaire pour que la radioactivité diminue de moitié.

Par exemple, pour un élément qui a une période de 30 ans, donc à vie courte, on considère qu'au bout de 30 ans, la moitié de sa toxicité aura disparu, 30 ans après, la moitié de ce qui reste etc. Donc, au bout de 10 fois 30 ans, il ne restera presque plus rien. Enfin, si au départ on en a beaucoup, à la fin, il peut en rester quand même pas mal.

À l'intérieur du tableau on peut voir les volumes de déchets de chaque catégorie en m3 équivalents conditionnés.

Volumes actuels de déchets en m3 — En 2020 — En 2030

Activité \ Période (1/2 vie)	très courte <100 jours	courte (VC) ≤30 ans ; ≤31 ans ?	Longue (VL) >31 ans
TFA (très faible)		360.000 (762.000) (1.300.0000)	
FA (faible)		830.000 (1.000.000) (1.200.000)	87.000 (89.000) (133.000)
MA (moyenne)			40.000 (45.000) (49.000)
HA (haute)		2.700 (4.000) (5.300)	

TOTAL : 1.320.000 m3 (1.900.000) (2.700.000)

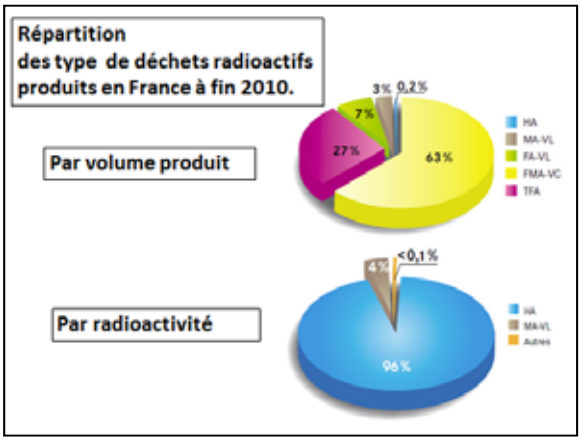
Nous avons reporté les volumes actuels en noir, ceux prévus en 2020 en vert et ceux prévus en 2030 en rouge. Au total, ça fait déjà une belle piscine et encore, tout ne figure pas dans ce tableau. Il y a les colis sans étiquette, les déchets sans filière, ceux de Comurhex [filiale d'Areva], les déchets des sites historiques…

- Si l'on regarde, les déchets les plus dangereux, il n'y en a pas beaucoup.

Tu as raison, mais regarde :

Les déchets les plus méchants, de haute activité à vie longue, donc, ceux qui sont en bleu, eh bien, ils représentent seulement 0,2 % du volume de tous les déchets mais 96 % de leur radioactivité !

- Et alors, où sont-ils tous ces déchets ?



- Certains sont stockés, d'autres sont entreposés en attendant une solution de stockage, d'autres sont en transit.

Pour les déchets très peu actifs et de vie très courte, chaque producteur s'en occupe, sous haute surveillance bien entendu. Ce sont par exemple les déchets que gère Cécile Salvat à l'hôpital [page 17], les pipis-cacas des personnes qui viennent de recevoir des produits radioactifs pour leurs examens.

À Morvilliers, on peut stocker des matériaux très faiblement radioactifs, provenant par exemple du démantèlement des centrales.

Lieux de stockage

Activité \ Période (1/2 vie)	très courte <100 jours	courte (VC) ≥30 ans ; ≥31 ans ?	Longue (VL)
TFA (très faible)	Sur lieu de production	MORVILLIERS (Aube)	
FA (faible)		La HAGUE (Manche)	A L'ETUDE
MA (moyenne)		SOULAINES (Aube)	CIGEO
HA (haute)		CIGEO	

À Soulaines ou à La Hague, on stocke des petits équipements, comme des gants, des vêtements ou des outils contaminés... Et puis, il y a aussi du césium 137…

- Et c'est quoi ce site « à l'étude » en jaune ?

- C'est un problème ! Pour le moment, les déchets qui ont une faible activité mais une durée de vie longue sont entreposés un peu partout car on n'a pas de lieu de stockage pour eux parce que actuellement plus aucune commune n'est partante pour un tel projet !

Il faut ajouter qu'il reste plus d'une trentaine de sites connus qui ont été ou sont encore pollués par des matières radioactives

Ce sont par exemple des sites industriels dont la plupart étaient situés en périphérie des villes. Après fermeture, le terrain a pu être recouvert par des constructions, des écoles, des maisons. On peut voir que le 5ème arrondissement garde le souvenir de Marie Curie !

- J'ai vu CIGEO tout à l'heure sur une diapositive. Qu'est-ce que c'est ?

- Un centre industriel de stockage géologique profond, donc c'est pour les HAMAVL. Regardez sur la diapo [en rouge], ce sont les pires déchets.

- Ah bon, donc ceux-là, on les enfouit, c'est bien, comme ça on en est débarrassé.

- Pas si simple. On n'a pas comme ça un grand trou où on peut mettre tout ce qu'on veut, refermer et être tranquille. D'abord pour l'instant, il n'y a pas de grand trou, il y a un projet, juste un projet, avec un laboratoire de recherche dans un petit trou. Un projet qui vient de loin, l'histoire a commencé il y a longtemps.

- Et ce projet, il est prévu à quel endroit ?

- À Bure, juste sur la limite départementale entre la Haute-Marne et la Meuse. Les riverains ne sont pas tous très contents.

- Mais au moins, ça règlera le problème de ces fameux HAMAVL ?

- Pas vraiment. Le projet est prévu pour recevoir tous ceux qui ont été produits jusqu'à maintenant et ceux que les réacteurs actuels produiront jusqu'à la fin de leur exploitation. Mais, s'il y a une suite, on ne sait pas ce qu'on en fera.

Quelques dates

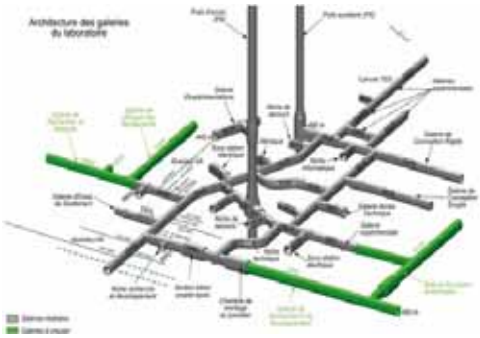
1991 (loi Bataille) et 2006
Lois relatives aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs

2011
Autorisation de poursuivre l'exploitation du laboratoire souterrain de Bure jusqu'en 2030

2015
Dépôt par l'ANDRA de la demande d'autorisation de CIGEO

- Ah, dommage ! Mais le projet actuel, CIGEO, il est prévu pour quel volume ?

- Ça fera environ 80 000 m3 équivalent conditionnés. Mais attention, pour stocker, quand les déchets sont « conditionnés », il faut en plus un emballage spécial, ça peut multiplier le volume par 3 ou 5, suivant les colis. À moins qu'on arrive à compacter un peu plus.



Voilà ce que ça va donner : des dizaines de kilomètres de galeries, sur une surface de 15 km2, on est loin de la piscine… Tout ça à 500 m sous terre.

Et puis on ne referme pas si vite que ça : c'est seulement en 2125 que tout sera refermé.

- 2025, tu veux dire ?

- Non, 2125, ça doit durer au moins 100 ans à partir de la mise en service. La mise en service est prévue en 2025, donc, date à laquelle on entreposera quelques colis HA. On attend pour voir ce qui se passe, et à partir de 2070 ou 2080 on continue à stocker… Enfin on continue à stocker si aucun problème n'est apparu en cours de route…

- Tout sera refermé ? On ne pourra plus toucher à rien ? Mais alors, finalement, le stockage tel qu'il est prévu à Bure, il est réversible ou irréversible ?

- Ben, en fait, on s'est donné beaucoup de mal, à la fin des années 1980 pour le concevoir de façon telle qu'il soit irréversible : enfouissement dans des couches géologiques profondes, enrobage et vitrification des colis. On a choisi une zone stable sur le long terme... et puis on a imaginé qu'on fermerait tout cela définitivement de telle façon qu'on ne verrait plus rien.

C'était aussi considéré comme la meilleure façon de protéger les générations futures : elles ne sauraient même plus où seraient de tels sites, cela éviterait à un éventuel terroriste d'aller y farfouiller...Mais suite à des revendications diverses et variées, la loi de 1991 a introduit la réversibilité comme étant une exigence incontournable... et cette exigence a été confirmée dans la loi de 2006.

- Ah bon, pourquoi ?

- Pour plein de raisons. D'abord parce que en cas de progrès scientifique sur la séparation chimique et la transmutation, il faut se garder la possibilité de reprendre à tout moment les déchets.

- Qu'est-ce c'est la transmutation ?

- Ça on verra tout à l'heure.

- Et c'est quoi les autres raisons ?

- Comme autres raisons il y a l'idée qu'il faut continuer à surveiller ce qui se passe, surveiller comment évoluent ces déchets, comment évoluent les milieux environnants, car on n'a qu'une estimation approximative de ces évolutions selon diverses prospectives. Il y a aussi l'idée qu'on ne peut pas décider pour les générations futures, ni les prendre en otages : il faut leur laisser la possibilité d'avoir droit au chapitre.

- Mais alors en attendant on fait quoi entre la réversibilité et l'irréversibilité ?

- Ben on dit qu'en fait le stockage prévu à Bure il est réversible... enfin on dit qu'il est provisoirement réversible, cela permet de calmer les esprits. Parce que de toute façon au fil du temps il sera de plus en plus irréversible. Tu comprends bien que, forcément, plus on attend plus cela sera coûteux et compliqué de récupérer les matières enfouies, et même impossible.

- Donc tout ça c'est un peu un trompe l'œil, non ?

- Ouais, tu as peut-être bien raison... D'ailleurs la commission nationale d'évaluation l'a bien noté dans son dernier rapport de 2012 : elle souligne que, pour satisfaire à l'obligation de réversibilité imposée par le législateur, des essais doivent encore être réalisés faute de quoi elle recommandera de surseoir à l'autorisation de création.

- Alors finalement c'est quoi la conclusion ?

- Finalement on a inventé une jolie formule, ce qu'on appelle le scénario de référence c'est « l'enfouissement géologique profond réversible ». D'ailleurs, maintenant, on se met à parler de récupérabilité plus que de réversibilité. Ce concept apparaît donc comme un compromis utile, en ce qu'il permet de rendre le dispositif un peu plus politiquement correct.

En attendant que ça refroidisse…

Christian Le Brun[26]

À l'invitation de Pénombre, Christian Le Brun a donné son point de vue sur l'approche technique de la production et du recyclage éventuel des déchets. Son intervention est ici résumée.

On m'a demandé de parler du cycle du combustible ; je vais essayer de vous parler d'une façon générale des déchets et de la production dans les réacteurs, en prenant comme exemple les réacteurs à eau ; les valeurs que j'indique sont des moyennes.

Le cycle de l'uranium débute avec sa recherche dans la terre ; il y a là un premier stade où on va créer, d'une certaine façon, des déchets ; d'un côté on prélève de l'uranium donc de la radioactivité potentielle puisque à terme il y en aura moins, mais en remuant la terre, l'uranium ayant un cycle très compliqué avec 24 descendants radioactifs, on peut dans un premier temps créer plus de radioactivité ; mais à terme les personnes avoisinantes en auront un peu moins sous leurs pieds.

Dans un deuxième stade, à la Comurhex, usine de raffinage, on va enrichir l'uranium : et là, simultanément, on va produire de l'uranium appauvri à 0,2 ou 0,3 %.

Une fois qu'on a enrichi l'uranium à 3,5 % environ on l'introduit dans le réacteur. En France on a 58 réacteurs pour 63GWel installés et 420TWh produits. Ces réacteurs sont rechargés par 1/3 tous les ans ; c'est-à-dire que tous les ans on sort 1/3 de combustible usé que l'on met dans une piscine et on charge 1/3 de combustible frais et donc on charge et on décharge tous les ans 1 200 tonnes.

Les 1 200 tonnes déchargées contiennent :

- 95 % d'uranium appauvri mais différent de l'uranium appauvri de la COMUREX car il est plus riche (à 1,1 %) que l'uranium naturel (à 0,7 %). Seuls les Russes ré-enrichissent pour l'instant cet uranium appauvri.

- Elles contiennent aussi 1,2 tonnes de plutonium qui a été créé dans le réacteur, c'est un plutonium très mélangé après 3 ans de production dans le réacteur, impropre à la fabrication des bombes ; le plutonium des militaires, permettant de fabriquer une bombe, est créé et déchargé au bout de 3 mois dans des réacteurs dédiés.

- Les cendres, c'est-à-dire 4,7 tonnes de produits de fission, toujours présentes dans tout type de réacteurs.

- 100 Kg d'actinides mineurs qui ont une durée de vie qui peut être très longue

Quelle est la partie valorisable, c'est-à-dire réutilisable comme combustible, et quelle est la partie de déchets ?

On fait des choix de ce que l'on fait de ce qui est déchargé des réacteurs, choix différents selon les pays.

Dans tous les cas, on met tous les produits déchargés en piscine, à refroidir pendant plusieurs années, la radioactivité diminue très vite au début.

[26] Physicien, ancien membre du Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, CNRS.

La Suède et la Finlande considèrent que ces 1 200 tonnes sont des déchets à stocker. Elles prévoient le stockage géologique profond dans des structures de granit considérées comme stables après avoir enveloppé les déchets dans des containers.

Dans d'autres pays (Allemagne, Russie, Royaume Uni, et prévu aussi au Japon) dont la France on sépare l'uranium appauvri à 1,1 % et le plutonium, entreposés sur des étagères, avec l'idée de les réutiliser un jour, et on laisse pour l'instant ensemble les produits de fission et les actinides mineurs que l'on vitrifie, et que l'on entrepose aussi (tout ceci est fait à la Hague où l'usine de retraitement est chimique).

Actuellement, on utilise une petite partie du plutonium que l'on remet en combustible dans certains réacteurs autorisés à le faire dans ce qu'on appelle du Mox, c'est-à-dire un mélange d'oxyde d'uranium et de plutonium. Pour l'instant les combustibles déchargés du Mox restent en piscine.

La Hague a fait des études et elle est capable de les séparer, mais actuellement on ne le fait pas : le plutonium ne pourrait pas être réutilisé en Mox. Il pourrait éventuellement être réutilisé dans les réacteurs de génération 4 (dits à « neutrons rapides ») qui n'existent pas encore industriellement.

Ceux qui posent problème sont les produits de fission et les actinides mineurs qui, en perdant de la radioactivité, dégagent de la chaleur. On pourrait envisager de les séparer les uns des autres, mais actuellement ce n'est pas fait.

La loi de 1991 a demandé d'explorer les possibilités de transmutation.

Transmuter c'est être capable de transformer des produits, potentiellement combustibles ou non, de réactivité à vie longue en vie beaucoup plus courte, uniquement possible dans des réacteurs. C'est encore à l'état de projet et conditionné à des réacteurs à neutrons rapides qui sont étudiés par la collaboration internationale GEN4.

Bonus à propos du Césium 137

La coupure entre « vie courte » et « vie longue », qui détermine en partie les conditions de stockage, est fixée dans certains documents à 30 ans, et, dans les derniers documents officiels, à 31 ans. Cette coupure « non ronde » est surprenante. Nous avons donc cherché quel était l'élément dont la durée de demi-vie se situait entre 30 et 31 ans et avons trouvé le césium 137. Le recul de cette limite de 30 à 31 ans était-elle bien due au césium ? N'ayant pas eu le temps de poser la question lors de la nocturne à un « expert », nous avons par la suite interrogé l'ANDRA

QUESTION 192 - classification des déchets
Posée par Béatrice BEAUFILS, (PARIS), le 22/06/2013

Pourquoi la classification des durées de vie des déchets utilise-t-elle 31 ans comme limite de classe (>31 ans) plutôt que 30? Est-ce à cause du césium 137?

Réponse du 15/07/2013 apportée par l'Andra, maître d'ouvrage de CIGEO

Effectivement, c'est la période du césium 137 (30,15 ans) qui a conduit à adopter dans la classification des déchets radioactifs une limite arrondie à 31 ans.

Un petit tour sur Internet convainc vite de la nocivité de cet élément.

Béatrice Beaufils (Pénombre)

Quatrième partie : risques, des chiffres à l'ignorance

Cette partie de la nocturne était la plus composite. Elle faisait se succéder la vidéo d'un entretien réalisé à l'initiative de Pénombre avant la soirée et qui est ici transcrite, puis une intervention témoignant de la difficulté d'étudier le risque nucléaire d'un point de vue ethnologique. On y trouve aussi quelques traces de la vie près d'une centrale ou d'installations nucléaires.

Affiche distribuée aux personnes habitant près de Cadarache, l'un des plus importants centres de recherche et développement sur l'énergie nucléaire en Europe. Il comprend 21 installations nucléaires de base et emploie en moyenne 4 500 personnes dont 2 100 agents du CEA.

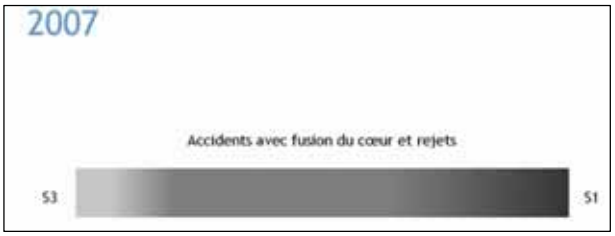
Quand ça pète, combien ça coûte ?

Patrick Momal[27]

Ce titre est évidemment de la rédaction. Réponse : de 70 milliards à 5 800 milliards. Avec une fourchette allant d'une probabilité inférieure à 10^{-7} (moins de un sur dix millions) à une certitude supérieure à 100 % comme on l'a vu dans le jeu introductif. Les fourchettes relatives aux chiffres des risques et de leurs conséquences financières sont plutôt des bonnes grosses fourches, et parmi les plus larges. Patrick Momal, économiste à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), est l'auteur de l'étude qui évalue le coût d'un accident grave et le coût d'un accident majeur. Ne pouvant être présent à la soirée, il a enregistré une vidéo qui explique sa démarche. La presse avait diffusé quelques éléments chocs avant même la parution du rapport final commandé à l'IRSN en 2007.

On a envisagé tous les types d'accidents. Le but c'est de tout couvrir sur un réacteur.

En 2007, on a répondu à une demande d'EDF qui était basée sur deux types d'accidents conventionnels :



- le S3 qui est tout en entrée de gamme une fois qu'on a une fusion du cœur ;
- le S1 qui est certainement un majorant.

Les études menées à l'époque ont révélé que la structure de ces deux types d'accidents est très différente et que donc les considérer globalement ce n'était pas informer tous les responsables. À l'époque il n'était pas question du public du tout.

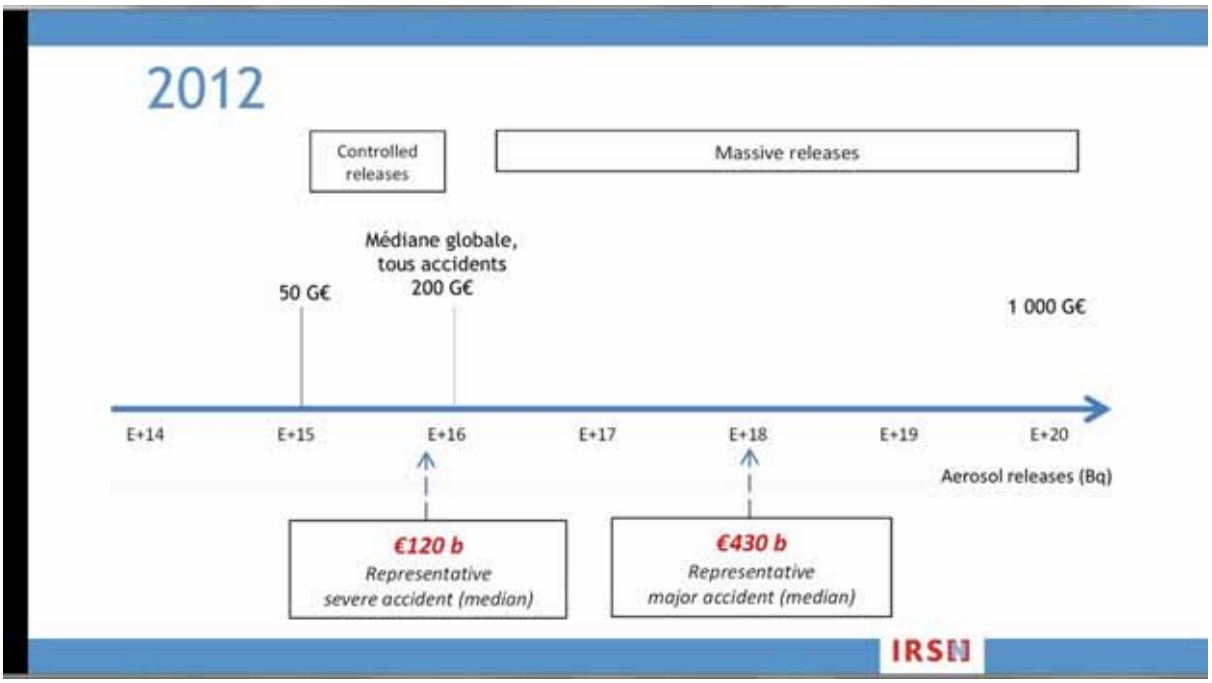
Aujourd'hui [2012] on regarde les choses tout à fait différemment. Il y a toute une gamme de termes-sources :

- le S3 qui est à l'entrée de gamme ;
- le S1 qui est à la sortie ;
- entre les deux on a des accidents que l'on a appelés « graves » ;
- et toute une autre gamme avec un facteur multiplicatif de 10 000 qui correspond à l'accident « majeur ».

[27] Économiste, chercheur à l'IRSN

Une fois qu'on a distingué deux familles de rejets, au sein de ces familles il y a des rejets d'ampleur différente. Il faut pour chacune de ces familles une idée équilibrée, raisonnable et médiane. C'est ainsi que la famille des accidents graves est repérée par une médiane de 120 milliards d'euros en France et l'accident majeur, dans une gamme très étendue de rejets graves possibles, à 430 milliards d'euros. Ces médianes couvrent à la fois cette variabilité de l'ampleur des rejets dans la famille et d'autres types de variabilités qui existent sur le territoire français, c'est-à-dire le site d'une part, la météo d'autre part.

Ce sur quoi nous communiquons en 2012 ce sont des médianes.



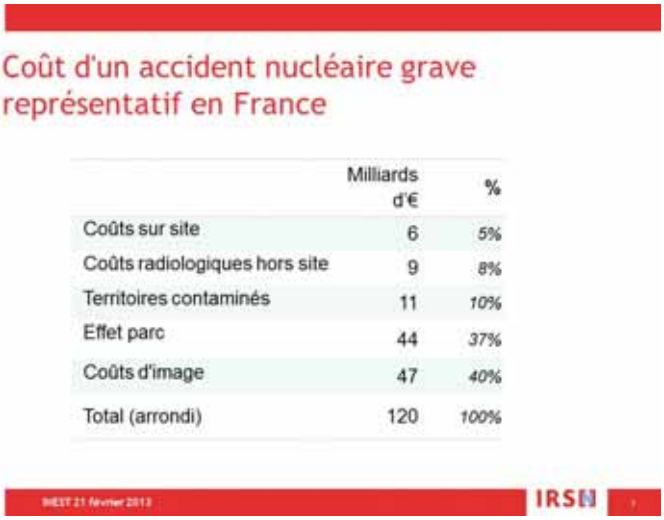
À partir de là, la polémique est arrivée parce que nous sommes en démocratie. C'est ainsi que le *JDD* a dû recevoir le rapport que nous avions sorti en 2007 ; c'étaient des calculs préliminaires. Nous n'avions pas alors le souci de représenter des familles puisque nous étions dans le cadre de l'instruction d'un travail proposé par EDF qui regardait le S3 et le S1. Le S1 c'est l'accident le plus grave que l'on puisse concevoir, donc évidemment le moins probable.

On a donc trouvé ce chiffre qui a circulé de 5 800 milliards. J'ai eu beau expliquer au journaliste pourquoi c'était injustifié de sortir ce chiffre, il l'a parfaitement compris mais l'a tout de même sorti. Chacun poursuit ses objectifs. Il semblerait qu'après la publication de ce rapport où chacun a pu remarquer qu'il n'était pas destiné au public, l'IRSN s'en est sorti par le haut en ne cherchant pas à cacher quoique ce soit : les méthodes employées à l'époque étaient insuffisantes pour communiquer là-dessus.

On peut se demander comment inciter les média, les citoyens, les décideurs à écouter plus qu'un seul chiffre. Le problème c'est que personne n'a le temps. Le lecteur veut un seul chiffre, le ministre aussi. Personne ne veut entrer dans la complexité. Comment faisons-nous, nous experts, dans ce cas-là ? On a deux variabilités ici : celle par rapport à l'ampleur du rejet, plus la variabilité météo d'autre part. C'est déjà trop. Pourtant, pour un expert, il pourrait y avoir N paramètres et pas seulement deux. Nous avons beaucoup de chiffres et en gros les médias ne sont intéressés que par un seul chiffre. Puisque les chiffres ne sont pas facilement audibles par le public en général, voire par un certain nombre de décideurs, ce qui est le plus efficace à mon avis c'est d'en faire une

description. C'est la raison pour laquelle on a séparé l'accident dit « grave » de l'accident dit « majeur ».

La raison est la suivante : un accident grave, sur la base de nos quantifications, c'est un accident national et non pas local et c'est gérable par la France, parce qu'une grande partie des coûts, environ 80 %, sont de nature économique, comme par exemple l'augmentation des factures d'électricité ou des choses de ce genre qui sont diffuses, qui sont portées par l'ensemble de la population française. La partie radiologique où on peut avoir de vraies victimes, des agriculteurs qui sont obligés de partir, qui ne peuvent plus vendre leur production, qui ont éventuellement subi des doses... est au maximum de 20 %. Autrement, la crise nucléaire qui suit un accident avec des rejets qui sont retardés et plus ou moins contrôlés est avant tout économique, dont les grands enjeux sont de protéger l'image de l'économie française, l'image du tourisme français et de ne pas faire n'importe quoi sur le système de production d'électricité.



	Milliards d'€	%
Coûts sur site	6	5%
Coûts radiologiques hors site	9	8%
Territoires contaminés	11	10%
Effet parc	44	37%
Coûts d'image	47	40%
Total (arrondi)	120	100%

	Milliards d'€	%
Coûts sur site	8	2%
Coûts radiologiques hors site	53	13%
Territoires contaminés	110	26%
Effet parc	90	21%
Coûts d'image	166	39%
Total (arrondi)	430	100%

En revanche quand on a des rejets massifs dans le cas d'un accident que j'appelle « majeur », la composante radiologique est tout à fait considérable. On a alors une crise radiologique comparable à Fukushima. Si on a 100 000 réfugiés radiologiques à reloger, je ne suis pas sûr que l'on arrive à le faire facilement et on risque d'avoir des quantités de déchets, des choses de ce genre considérables à gérer... On a donc à gérer une crise d'une complexité plus grande, les pays étrangers sont touchés, avec des souffrances humaines, avec des coûts humains, de nombreuses victimes.

Pour l'accident grave, les coûts de nature économique sont de l'ordre de 100 milliards d'euros et il faut compter 20 milliards d'euros pour les coûts radiologiques qui sont des coûts de territoires contaminés, de pertes de production agricole, de perte de santé...

Pour l'accident majeur, on a environ 160 milliards d'euros pour la crise radiologique : 110 pour les territoires contaminés et 53 milliards pour les coûts radiologiques hors site. Et 270 milliards pour les coûts de nature économique : 160-170 milliards pour les coûts d'image, le reste étant des coûts d'électricité et des coûts sur le site.

Chaque ligne de coût est décomposée en plusieurs sous-lignes, par exemple : les coûts d'image comportent l'image agricole, les effets sur le tourisme et ceux sur les exportations essentiellement sur les exportations du secteur électronucléaire.

Compte tenu de ces constats, quelle serait une bonne politique de l'évolution du parc nucléaire français ? En tant qu'économiste de l'IRSN je ne me prononce pas. Cela revient au début public énergétique. Je peux juste donner un éclairage, parce que pour ces choix politiques la théorie économique et la théorie de la décision donnent des éclairages mais ne donnent pas le paramétrage.

Ce que l'on observe depuis la fin de la seconde guerre mondiale c'est une augmentation régulière de l'aversion au risque de la population et de l'aversion au risque des politiques, phénomène qui n'est pas propre à la France mais général dans les pays européens, et qui augmente avec l'augmentation des richesses, mais que l'on n'observe pas aux États-Unis où l'aversion au risque est plus faible, pour des raisons qu'il faudrait envisager, et que l'on n'observe pas dans les pays émergents et encore moins dans les pays en voie de développement. En général, plus un pays est riche, plus son aversion au risque augmente. En extrapolant, on peut penser que dans 20 ou 50 ans la France sera encore plus averse aux risques[28] de tous genres et en particulier au risque nucléaire. Par conséquent, en France, on peut penser que le risque d'accident très grave sera de plus en plus mal perçu. Anticipant une telle évolution de la société, le secteur nucléaire aurait intérêt à mettre sur le marché des produits qui peuvent garantir l'absence d'accident majeur.

[28] Ndlr: « averse aux risques » apparaît comme un anglicisme dans le langage d'un économiste français. Ses collègues anglophones parlent de *risk-averse*. Ce n'est pas un risque d'averse mais la qualité d'une personne marquant son aversion au risque par un comportement d'évitement. La transformation du substantif « aversion » en adjectif devrait donner en français « aversif » plutôt que « averse ». Une suggestion, suggestive ou non… Remarquons par ailleurs que l'auteur n'envisage pas le cas où, dans 20 ou 50 ans, la France s'étant appauvrie, elle serait devenue moins averse aux risques.

Vivre auprès et avec le « nucléaire ».

Françoise Zonabend[29]

À la Hague (pointe nord-ouest du Cotentin, département de la Manche) on compte pas moins de cinq sites nucléarisés, plus ou moins surveillés par les autorités de sureté : l'usine de retraitement des matières radioactives de AREVA, un site de stockage des produits irradiés géré par l'ANDRA, la centrale nucléaire de Flamanville, propriété de EDF, auprès de laquelle le réacteur EPR est en construction, l'arsenal militaire de Cherbourg où ont été construits, puis entretenus des sous-marins à propulsion nucléaire, enfin, dans les années cinquante, les autorités britanniques ont déversé nombre de fûts contenant des déchets radioactifs dans la fosse des Casquets, distante en mer d'environ dix kilomètres des côtes de la Hague. Dès lors, on peut se poser la question de savoir comment vivent et réagissent les habitants de cette région. Comment font-ils pour incorporer, réellement ou symboliquement, cet environnement ?

Cependant, il faut bien savoir que pour mener une telle enquête par entretien par exemple, on se heurte immédiatement à une difficulté, celle du silence ou de l'amnésie qui entourent ces questions ou, en d'autres termes, à l'absence apparente de discours sur ces sujets ou le déni total de tout risque. Il faut comprendre en effet, que pour vivre là, dans des conditions de confort moral suffisantes, il ne faut pas que l'on se rappelle ou que l'on vous rappelle constamment que vous habitez dans une zone spéciale ou allez travailler dans un établissement dangereux. Il va de soi que personne ne souhaite se poser de questions à ce sujet : si l'on vit là, si l'on travaille là, c'est qu'on ne risque rien. Aussi toute question sur le danger, le risque encouru ou la peur ressentie, sera refusée, déniée, détournée. C'est d'ailleurs là un trait bien connu de ceux qui interrogent les populations qui vivent aux alentours de centrales nucléaires : tous les sondages publiés montrent que plus les gens habitent près d'une centrale, plus ils affirment qu'elle est fiable. De la même manière, ceux qui observent les travailleurs des industries à risque savent bien qu'ils refusent de reconnaître les dangers de leur tâche au point qu'il est difficile de leur faire admettre de prendre d'indispensables mesures de sécurité.

Avec l'industrie nucléaire, il ne s'agit pas d'un refus d'admettre la dangerosité de la radioactivité ou du travail en milieu radioactif : on connait trop, aujourd'hui, les effets des produits ionisants sur l'homme ou sur la nature. Si on dénie le risque, c'est parce qu'ici, dit-on, toutes les précautions sont prises. Dès lors, si toutes les précautions sont prises, comment admettre ou croire que l'on risque encore quelque chose et pourquoi, au demeurant, faudrait-il lutter, réellement ou psychologiquement, contre un péril hautement improbable... ? Bien moins probable en tous cas que les risques quotidiens, comme le risque automobile pris par chacun et dont on se moque. À toute question sur le danger encouru, n'est-il pas répondu qu'il est moins dangereux de travailler à l'usine ou de vivre à côté, que de prendre sa voiture tous les matins ?

Dans ce contexte, il faut bien savoir que la parole est le support de mille ruses destinées à obscurcir le sens déclaré, proclamé de la narration entendue. Le langage ici peut dire ou taire, mener ou égarer, éclairer ou brouiller. Maintes fois, dans les récits recueillis, l'énoncé réel se tapit, se dissimule derrière des paroles destinées à lui faire écran. Tout un ensemble de tactiques s'y déploient visant à recréer sans cesse de l'opacité et de l'ambiguïté. Pourtant, l'analyse du langage ou de l'acte de parler me semble seule capable d'informer sur ce vécu singulier. La parole, ou mieux l'expression orale, avec ses digressions, ses interdits sur le dire, ses intonations, ses substitutions

[29] Ethnologue, EHESS.

métaphoriques, offre la possibilité de révéler les processus d'effacement et de repérer les tactiques défensives ; en quelque sorte, les mille et une façons de déjouer l'anxiété.

Cette parole dite pour cacher, ces discours proférés pour détourner auxquels viennent s'agréger d'autres traits de comportement, d'autres manifestations langagières, parlent tous d'une même voix d'une indéniable peine secrète, d'une inquiétude refoulée, d'une peur enfouie.

Ainsi pour les riverains qui vivent avec le nucléaire à côté d'eux, il faut l'oublier et pour ce faire il n'est pas de meilleur moyen que de n'en pas parler, de ne pas nommer ces usines inquiétantes. Les riverains de l'usine de retraitement des combustibles irradiés ne la nomment pas. Quand ils en parlent, ils disent "l'usine" sans plus de qualification, mais le plus souvent ils disent seulement « là-haut », ou encore « la chose » ou « ça », toutes façons de dire qui impliquent, on le sent bien, un désir d'éloignement, une mise à distance. Et ce lieu non nommé, ils tentent par toutes sortes de moyens de ne pas le voir. Prenant prétexte de la topographie ou de la météorologie, ces riverains du nucléaire sont tous victimes d'une même cécité paysagère et disent tous, dès lors, se sentir à l'abri ou, du moins, ils veulent le croire.

Ce désir de n'en pas parler ou de ne pas voir l'usine, n'empêche nullement, il faut le souligner, que se manifeste chez les riverains, un désir de connaissance, une soif de savoir ce qui se passe « là-haut ». D'où les nombreuses visites que les habitants de la Hague rendent à l'usine. Mais on s'aperçoit vite que ces visites agissent comme des sortes d'exorcismes. Elles se font toujours en groupe, sous la direction d'un conférencier qui égrène des propos rassurants sur la fiabilité de l'usine, sa capacité à résister à tous les fléaux naturels -tremblements de terre, tempêtes...- ou artificiels -panne d'électricité, arrêt de la ventilation...- qui la menacent. Quant aux films que l'on regarde, ils magnifient le travail de ces hommes qui ont su maîtriser la formidable énergie naturelle qu'est le nucléaire. Ainsi rassérénés, les habitants de la Hague peuvent plus aisément oublier l'usine, la mettre à distance et s'en croire à l'abri.

Les gens de la Hague ne cessent de jouer sur le proche et le lointain. Ainsi qu'ils éloignent l'usine d'eux en imagination, ou qu'ils s'en rapprochent en la visitant, leur démarche obéit aux mêmes fins : tenter d'oublier une présence obsédante. Certes, pour oublier, les Haguais ont recours à bien d'autres tactiques : ils jouent les indifférents –« mourir de ça ou d'autres choses... »- ou ils mettent en avant les bienfaits économiques que ces établissements ont procurés à la région et qui, nous n'aurions garde de l'oublier, sont importants dans ce pays où n'existait aucune perspective de développement industriel ou commercial. Reste encore pour supporter cette usine le recours à la fatalité qui impose de s'accommoder d'une réalité contre laquelle on ne peut rien. « Contre ça, que voulez-vous qu'on fasse... ». Là encore, les choses sont dites de façon détournée, la réalité se cache derrière des discours-écrans ou déviés qu'il est nécessaire de décrypter. C'est ainsi que pour exprimer leurs craintes sur la nature bouleversée qui, à présent, les environne ou dire, sans le dire, que leur paysage est trop chahuté, ces riverains du nucléaire vont emprunter la bouche de la rumeur.

Les rumeurs, ici, disent toutes, de façon détournée certes, l'effroi qu'inspirent ces immenses usines implantées là sur le plateau ou amarrées à la côte. À la Hague les rumeurs circulent sans cesse. Elles s'entrecroisent, s'entremêlent avec celles venues d'ailleurs, d'autres régions, d'autres territoires, et celles qu'on murmure entre soi, entre riverains ou entre travailleurs de ces usines. Mais ce qu'il faut bien saisir, c'est la fonction de ces rumeurs. Elles ne cherchent pas à expliquer une situation, elles parlent d'une situation angoissante. Jouant sur différents registres -les mythes fondateurs et les peurs primitives de l'homme- les rumeurs fournissent un langage, des mots pour dire l'inquiétude qui sourd à présent de ces lieux, même si de ces rumeurs on se gausse ou l'on se moque... Il n'empêche qu'on les répète et les propage...

La cécité paysagère, les visites exorcistes, les rumeurs de pollution et d'abandon, ne sont que les expressions sociales d'une anxiété latente. Il faut voir dans ces pratiques imaginatives organisatrices de discours singuliers, des stratégies défensives de toutes sortes constituant autant de ruses, de tactiques d'apprivoisement de cet univers dangereux et inconnu dans lequel il faut désormais vivre, œuvrer, habiter.

Usant de subtilité langagière, jouant sur le pouvoir des mots, s'appuyant sur la rumeur, les hommes et les femmes de la Hague tentent d'éloigner d'eux, d'occulter ou d'apprivoiser ces établissements dangereux auprès desquels ils demeurent ou dans lesquels ils sont appelés à travailler chaque jour. À la Hague, le nucléaire sécrète l'oubli, occasionne littéralement des trous de mémoire. Mais l'on peut penser aussi que le déni abrupt du risque, les silences qui ponctuent les conversations sur le nucléaire ou les rumeurs sinistres que l'on s'empresse d'attribuer à d'autres, servent, en fait, à écarter l'angoisse qui plane sur la technologie manipulée ici.

Au quotidien, certes, les hommes peuvent vivre avec le nucléaire, mais au prix, il est vrai, d'une souffrance qui, pour être cachée, déniée, n'en est pas moins réelle.

Françoise Zonabend, *La presqu'île au nucléaire.*
Paris, Ed. Odile Jacob, 1989.

QUE FAIRE EN CAS D'ALERTE ?

Si un accident susceptible d'entraîner le déclenchement du PPI se produit au CEA-Cadarache, l'alerte sera donnée par un signal unique : une sirène au son modulé (c'est-à-dire montant et descendant).
Ce signal dure 3 fois 1 minute espacées de 5 secondes.

LES BONS RÉFLEXES

- **Si vous êtes dehors**, entrez dans le bâtiment le plus proche. Fermez portes et fenêtres.
- **Si vous êtes en voiture**, arrêtez-vous et réfugiez-vous dans le bâtiment le plus proche. Ne tentez pas de vous enfuir, vous seriez plus exposé au danger et vous gêneriez la circulation des véhicules de secours.
- **Si vous êtes à l'intérieur**, chez vous, à votre travail ou dans un lieu public (école, magasin, poste, etc.), assurez-vous que toutes les issues sont fermées. Sachez surtout que l'important est de se protéger dès les premières secondes de l'alerte ; plus vous perdez de temps et plus vous vous exposez inutilement au danger.
  Alors ne tentez pas de rejoindre vos proches ou d'aller chercher vos enfants à l'école, ils y sont à l'abri.

- Ecoutez votre radio habituelle. Des précisions y seront apportées sur la nature du danger et sur l'évolution de la situation.
  Pendant l'alerte, les lignes téléphoniques doivent rester à la disposition des secours. Ne téléphonez pas au CEA-Cadarache ni aux services publics. Téléphonez uniquement au numéro spécial qui sera mis à votre disposition et communiqué par radio (numéro indigo).
- La durée de la mise à l'abri ne devrait pas dépasser quelques heures. Soyez patient. Ne quittez pas votre abri sans autorisation des pouvoirs publics (fin d'alerte donnée par message radio et signal continu de 30 secondes de la sirène).

  Après l'alerte : suivez tous les conseils qui vous seront communiqués par les pouvoirs publics. (www.pref.gouv.fr).

- Si vous pensez avoir été touché par des produits toxiques ou radioactifs répandus lors de l'accident, douchez-vous, changez de vêtements et présentez-vous à un médecin dès la fin de l'alerte.

Risque nucléaire : essayez l'homéopathie ou enduisez-vous le ventre de teinture d'iode !

Chantal Cases, paroles et musique de Pascal Crépey

Pour conclure cette partie, je voudrais vous présenter un article très original publié récemment dans une revue scientifique (*Plos One*) par plusieurs chercheurs[30], par ailleurs amis de Pénombre, et qui en dit long sur notre perception collective du risque nucléaire, et quelques pauvres moyens que nous tentons de mettre en œuvre pour nous en protéger. Aucun des trois auteurs, Pascal Crepey, Mathilde Pivette et Avner Bar-Hen, n'a pu être présent ce soir, tous étant loin de Paris aujourd'hui. Mais Pascal Crepey a eu la gentillesse de nous envoyer un diaporama revisitant leur papier « à la mode de Pénombre » et je vais essayer de vous le présenter en trahissant le moins possible leur travail.

Rappelons brièvement les faits : après un séisme de magnitude 9, un tsunami de 15 mètres et l'explosion des réacteurs de Fukushima, le 11 mars 2011, Des fumées radioactives se sont dispersées dans l'atmosphère. Le nuage a atteint la France le 23 mars. La France où diverses enquêtes attestent d'un certain manque de confiance vis-à-vis des autorités sur ce sujet, suite à l'hypothétique arrêt du nuage de Tchernobyl à nos frontières… mais aussi d'une certaine réticence face aux recommandations de santé publique plus récentes, lors de la pandémie grippale. Pendant cette crise, les autorités de santé, en France comme ailleurs en Europe, ont régulièrement répété qu'il était inutile de prendre de l'iode pour prévenir les conséquences de cette diffusion atmosphérique et n'a donc pas diffusé les produits à base d'iode réservés aux crises nucléaires et conservés dans des pharmacies contrôlées par l'armée ou situées à proximité des centrales. Mais une partie de la blogosphère relayait des informations différentes et certains s'inquiétaient.

La bonne idée de nos amis chercheurs a été d'aller voir dans les bases de données sur les ventes en pharmacie si, par hasard, des produits à base d'iode auraient été davantage consommés pendant la période de crise que pendant les semaines précédentes. Et là, ils ont trouvé, notamment, un pic de vente de compléments alimentaires et de produits homéopathiques à base d'iode, juste en phase avec l'arrivée du « nuage de Fukushima »… Les ventes des produits homéopathiques en question (*Iodum N CH*) ont sur une courte période augmenté de 300 %, avec et sans prescription médicale ! Faute de merles, on mange des grives, et même avec l'accord de la faculté, qui doit miser sur l'effet placebo contre le stress...

Bon, pour la teinture d'iode, en revanche, pas de pic des ventes. Un médicament un peu oublié de nos jours, sans doute…

Comme notre chercheur est facétieux, il a fait un petit calcul amusant. En rappelant que la dose d'iode stable nécessaire pour saturer sa tyroïde pour 24h, et ainsi éviter que l'iode radioactif se fixe sur cette glande et provoque des cancers, est de 100mg. Ensuite, accrochez-vous et que ceux qui se souviennent de leurs cours de physique-chimie expliquent aux autres. Les données du problème sont les suivantes :

- un atome d'iode pèse 2,1 x 10^{-22} grammes ;

30 Pascal Crépey, Mathilde Pivette, Avner Bar-Hen, "Quantitative Assessment of Preventive Behaviors in France during the Fukushima Nuclear Crisis", Plos One, March 2013 | Volume 8 | Issue 3 | e58385

- la dilution d'une mole d'iode à CH9 représente 602 214 atomes (si, si ! personne n'a protesté dans la salle parmi les physiciens… et une dilution plus élevée que CH9 ne garderait pas d'atomes entiers…) ;
- une granule homéopathique pèse 50mg ;

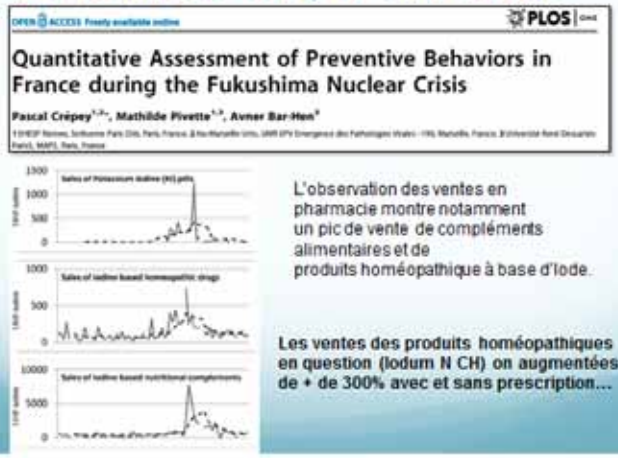
Par conséquent, un individu aurait besoin de… 39 mégatonnes de granules homéopathiques pour saturer sa thyroïde pendant 24h ! Soit la masse de 5 393 tours Eiffel grandeur nature ou 8 pyramides de Khéops de granules (là, on est obligés de lui faire confiance, il ne nous a pas indiqué ses sources sur les poids des deux monuments) ! Pour une seule personne pendant 24h…

Or les granules sont composées à 85 % de saccharose. Sachant qu'un Français consomme en moyenne 25 kg de sucre par an, le sucre nécessaire pour traiter une seule personne avec des granules homéopathiques représente l'équivalent de la consommation de sucre des Français pendant 20 ans ! Merci de contrôler les calculs dans la salle, s'il vous plait.

Conclusion de notre ami : vu le goût français pour l'automédication et l'homéopathie et vu le vieillissement des centrales nucléaires dans le monde, les champs de betteraves sucrières pourraient être un investissement d'avenir ! Quel meilleur mot de la fin pour cette nocturne ?

…/…

Pendant ce temps, en France



L'observation des ventes en pharmacie montre notamment un pic de vente de compléments alimentaires et de produits homéopathique à base d'Iode.

Les ventes des produits homéopathiques en question (Iodum N CH) on augmentées de + de 300% avec et sans prescription…

La dose d'iode stable nécessaire pour saturer sa tyroïde pour 24h est de 100mg*

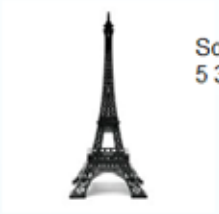
Un atome d'iode pèse $2.1 * 10^{-22}$ grammes
La dilution d'une mole d'Iode à CH9** représente 602 214 atomes
Il faut donc $7.87 * 10^{14}$ granules pour obtenir 100mg d'Iode

Une granule homéopathique pèse 50mg

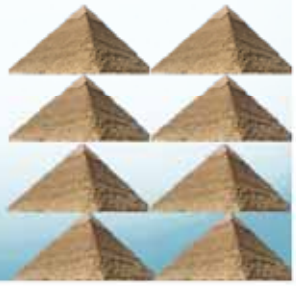
Par conséquent, un individu aurait besoin de 39 mégatonnes de granules homéopathiques pour saturer sa thyroïde pendant 24h…

* et ainsi éviter que l'iode radioactive se fixe sur cette glande et provoque des cancers
** une dilution plus élevée ne garderait pas d'atomes entiers…

39 mégatonnes de granules homéopathiques



Soit la masse de
5 393 tours Eiffel grandeur nature



Ou 8 pyramides de Khéops de granules

Pour une seule personne pendant 24h…

Les granules sont composées à 85% de saccharose

- Sachant qu'un Français consomme en moyenne 25kg de sucre
- Le sucre nécessaire pour traiter une seule personne avec des granules homéopathique représente l'équivalent de la consommation de sucre des Français pendant 20 ans !

Conclusion:
Vu le goût français pour l'automédication et l'homéopathie…
Vu le vieillissement des centrales nucléaires dans le monde…

Les champs de betteraves sucrières pourraient être un investissement d'avenir

ORGANISMES et SIGLES

ANDRA : *Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs*

Établissement public chargé de la gestion des déchets radioactifs

AREVA (COGEMA)

Groupe industriel spécialisé dans le nucléaire

ASN : *Autorité de sûreté nucléaire*

Assure au nom de l'État le contrôle du nucléaire civil, pour protéger le public, les patients, les travailleurs et l'environnement, et informe les citoyens

CEA : *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*

Organisme public chargé de développer les applications du nucléaire civil et militaire.

CIPR : *Commission internationale de protection radiologique*

Organisation non gouvernementale, apprécie l'état des connaissances sur l'effet des rayonnements, émet des recommandations générales.

CLI : *Commission locale d'information*

Structure d'information et de concertation mise en place à proximité des installations nucléaires par le conseil général (loi TSN sur la transparence et la sureté en matière nucléaire du 13 juin 2006).

CRIIRAD : *Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité*

Association loi 1901. Dispose d'un laboratoire d'analyse. Contrôle la radioactivité, informe le public et alerte les autorités.

HCTISN : *Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire*

Instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et leur impact sur la santé, l'environnement et la sécurité

IRSN *: Institut de Radioprotection et de Sûreté nucléaire*

Expert public en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques

OPECST : *Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques*

Délégation parlementaire chargée d'informer le Parlement français des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin d'éclairer ses décisions.

Ce volume contient :

Diaporama 2
Jeu 7
Première partie : Santé ! 11
Unités, doses et seuils (du plus faible au plus fort) 12
La radioactivité à l'hôpital 16
Les âmes mortes du nucléaire, ou Tchitchikov à Tchernobyl 19
Tous différents 26
Deuxième partie : économie(s), emploi(s) 27
Tous les coûts rendus publics, chacun reconnaîtra les siens… 28
Des coûts aux prix 33
Après les coûts, l'emploi : étude d'impact 37
Travaux pratiques 40
Troisième partie : les déchets et leurs mots 42
Faits et méfaits, la vraie vie des produits 42
En attendant que ça refroidisse… 50
Bonus à propos du Césium 137 52
Quatrième partie : risques, des chiffres à l'ignorance 53
Quand ça pète, combien ça coûte ? 54
Vivre auprès et avec le « nucléaire ». 58
Risque nucléaire : essayez l'homéopathie ou enduisez-vous le ventre de teinture d'iode ! 62
ORGANISMES et SIGLES 65

Nul ne peut se prévaloir de sa propre turpitude

Conseil d'administration : Bruno Aubusson de Cavarlay (trésorier), Béatrice Beaufils, Jean-René Brunetière (vice-président), Michelle Folco, Alain Gély, Fabrice Leturcq (président), Marion Selz (secrétaire), François Sermier, Alain Tripier.
Conseil élargi : Chantal Cases, Daniel Cote-Colisson, Sébastien Delahaie, Alfred Dittgen, Karin van Effenterre, Jean-Étienne Mestre, Nicolas Meunier, Lise Mounier, Claudine Schwartz, Jan Robert Suesser, Fabienne Vansteenkiste, Erik Zolotoukhine et les membres du conseil d'administration.
Lettre grise : directeur de la publication : Fabrice Leturcq
Adresse postale : Pénombre, 32 rue de la Clef, F 75005 Paris **Courriel** : redaction@penombre.org
Site internet : http://www.penombre.org

ISSN 1959 – 786X