



HENRI PRÉVOT

AVEC LE NUCLÉAIRE

Un choix réfléchi et responsable



ÉDITIONS DU SEUIL

25, boulevard Romain-Rolland, Paris XIV^e



Introduction

La crise économique va-t-elle nous ouvrir les yeux sur la nécessité d'éviter le gaspillage ? Sommes-nous conscients que la concurrence commerciale entre les grandes régions du monde est sans pitié ?

Si la France savait renoncer à la moitié des panneaux photovoltaïques et des éoliennes décidés à la suite du Grenelle de l'environnement et les remplaçait par un ou deux réacteurs nucléaires, elle économiserait plusieurs milliards d'euros par an, suffisamment pour compléter le financement du programme mondial de lutte contre le SIDA, sauvant ainsi des millions de personnes ; ou, si l'on préfère, suffisamment pour financer chez nous l'emploi de quelques dizaines de milliers d'enseignants, de chercheurs, de policiers ou d'aides soignantes.

Si la France ne refuse pas le nucléaire, elle n'a pas besoin d'éoliennes chères et capricieuses ni de panneaux photovoltaïques qui, à coup sûr, ne produisent rien lorsqu'on en a besoin. Je veux dire qu'elle n'a pas besoin de *la moindre* éolienne ni du *moindre* panneau photovoltaïque.

Il faut isoler les bâtiments qui consomment trop d'énergie, qui le contestera ? Mais pas à n'importe quel coût ! Les objectifs du Grenelle de l'environnement ne seront pas atteints et certains s'en désolent. Ce n'est pourtant pas étonnant ! Ils ont été fixés sans se préoccuper des coûts ! Avez-vous calculé

quel devrait être le prix du gaz ou du fioul pour qu'une isolation par l'extérieur ou une ventilation double flux deviennent intéressants sans aucune aide publique (crédit d'impôt, prêt à taux zéro ou autre)? La même question se pose à propos des doubles vitrages, si l'on n'a pas besoin de changer les fenêtres. Au lieu de faire des dépenses d'isolation thermique excessives, il vaut mieux s'équiper d'une pompe à chaleur ou d'un chauffage hybride intelligent où l'électricité s'efface pour laisser la place au fioul ou au gaz lorsque la demande globale d'électricité devient trop forte. En dépensant beaucoup moins, nous diminuerons tout autant les émissions de CO₂¹ et la consommation de fioul ou de gaz. Encore faut-il produire assez d'électricité pour pas trop cher, une électricité qui n'émet pas de CO₂, ce qui pose, là aussi, la question du nucléaire.

Pourquoi le refuserait-on? Certains motifs méritent que l'on s'y arrête, mais il faut tordre le cou à des histoires répétées un peu partout sans réflexion.

On nous dit que le coût du démantèlement des réacteurs n'est pas connu précisément et que l'évaluation qui a été faite est sous-estimée. C'est possible; probable même. Mais si le coût était deux fois plus élevé que prévu, cela aurait un très faible effet sur le coût du nucléaire. Les contempteurs du nucléaire le savent bien! Ils savent aussi, mais se gardent bien de le dire, qu'avec des éoliennes et du photovoltaïque, pour compenser le manque de vent ou de soleil il faut renforcer le réseau électrique, produire de l'électricité à partir de gaz ou de charbon émetteurs de CO₂, construire des capacités de stockage d'électricité qui coûtent les yeux de la tête. En tenant compte de tout cela, remplacer un réacteur nucléaire par des éoliennes au sol ou en mer revient à doubler ou à tripler le coût de production de l'électricité; à le multiplier par quatre si on remplace le nucléaire par du photovoltaïque.

1. Une table des sigles est donnée en fin d'ouvrage.



INTRODUCTION

On ne va pas priver ceux d'entre nous qui veulent de l'électricité « renouvelable ». Mais qu'ils la paient à son vrai coût sans faire payer les autres !

On nous dit aussi qu'il est immoral de laisser des déchets qui resteront radioactifs pendant très longtemps. *A priori*, cela pose une question qui relève de la morale en effet. J'ai vraiment essayé de voir où serait le danger de ces déchets à vie longue, tels qu'ils sont traités et stockés. Je n'ai pas trouvé. Ces déchets sont confinés et on sait où ils sont et ce qu'ils deviendront. Où est le risque ? De plus ils remplacent les montagnes de déchets solides, les fumées polluantes et les quantités colossales d'émissions de CO₂ qu'aurait générées une production d'électricité à partir de charbon ou de gaz. La question des déchets plaide fortement pour le nucléaire.

Le vrai risque est ailleurs : l'accident grave qui relâche de la radioactivité. Ce risque est réel et sérieux et ne doit pas être minimisé. Le tsunami de Fukushima a causé 25 000 morts. Les émanations radioactives n'en ont causé directement aucune. Combien en causeront-elles à l'avenir ? On ne sait pas. Il est seulement possible de donner une fourchette : dans les cinquante ans à venir, entre zéro et cinq cents parmi une population de plusieurs millions de personnes. Mais il a fallu déplacer 80 000 personnes. Les décès que l'on peut aujourd'hui imputer à l'accident ne sont pas liés à la radioactivité, mais, comme autour de Tchernobyl, au déracinement qui, source d'inquiétude et d'angoisse, déstabilise la vie familiale, sociale et professionnelle. Quand les habitants pourront-ils revenir chez eux ? Quelle est la dose de radioactivité qui rend un terrain inhabitable ? Il appartient aux Japonais de répondre. Pourquoi ne décideraient-ils pas que sont habitables les terres où la radioactivité est la moitié de ce qu'est la radioactivité naturelle dans certaines régions du monde très peuplées, ou encore la radioactivité d'une zone granitique ? Dès lors, les surfaces aujourd'hui inhabitables autour de Fukushima couvrent probablement 100



ou 200 km². C'est trop, mais ce n'est pas plus. Et l'on sait comment nettoyer ces terrains ; on sait comment se protéger de la radioactivité.

Que l'on cesse de vouloir nous inquiéter en disant que l'on a trouvé des doses insupportables à plus de 30 km de la centrale de Fukushima ! Il ne fallait pas être sorcier pour savoir où les trouver : dans les stations d'épuration. En effet, les particules radioactives sont emportées par les eaux et se concentrent dans les eaux d'égout. Plutôt que de jeter l'alarme, il fallait se réjouir de les voir se concentrer en des endroits connus d'où il est facile de les retirer. La façon dont les opposants au nucléaire manipulent l'information est exaspérante. Rappelez-vous cette accusation ressassée *ad nauseam* selon laquelle le Pr Pellerin aurait affirmé que le « nuage de Tchernobyl » se serait arrêté aux frontières de la France. Peu après l'accident, un quotidien nous a dit que le Pr Pellerin avait annoncé l'arrivée au-dessus de la France de cette radioactivité. Dix jours plus tard¹, le même journal a fait sa une en écrivant : « les pouvoirs publics ont menti, le nuage de Tchernobyl a bien survolé une partie de la France ». En réalité le Pr Pellerin avait dit qu'il n'était pas nécessaire de prendre des mesures spécifiques de protection et la suite de l'histoire a montré qu'il avait raison. Autre exemple : les opposants au nucléaire nous disent qu'il est évident que l'augmentation du nombre de cancers de la thyroïde observée depuis l'accident de Tchernobyl est due à cet accident. Pourtant cette augmentation a commencé auparavant et a été plus rapide dans des régions qui ont reçu moins de radioactivité que d'autres. On n'en finirait pas de citer des cas d'informations tendancieuses, ajustées de façon à laisser entendre quelque chose qui est différent de la réalité.

1. Le journal *Libération* du 2 mai 1986 puis du 12 mai 1986.

INTRODUCTION

Et, chaque fois, cela est accompagné de commentaires méprisants à l'endroit de ceux qui voient que la production nucléaire présente plus d'avantages que d'inconvénients.

Pour répondre à cette désinformation, ce livre présente au lecteur une information sur l'état de la technique et sur les coûts, et une réflexion sur les enjeux qui accompagnent le nucléaire ou le refus du nucléaire.

Ce qui se passe au cœur du réacteur n'est pas mystérieux. Il est utile de le décrire pour situer la cause de l'accident grave. Les scientifiques et les ingénieurs ont su tirer parti des propriétés de la matière pour faire en sorte qu'une réaction en chaîne, foncièrement instable, soit pourtant stable. En cas d'accident, lorsque le réacteur sort de son domaine de stabilité, la réaction s'arrête nécessairement mais laisse derrière elle une quantité de chaleur qu'il faut continuer à évacuer¹. Les gros accidents nucléaires intervenus aux États-Unis, en Ukraine et au Japon nous ont appris comment renforcer la sûreté de fonctionnement. Un chapitre traite des effets sur la santé des faibles doses de radioactivité. On y voit les limites de ce qui peut être connu par les études épidémiologiques. La recherche biologique progresse. Il existe probablement un seuil en deçà duquel les faibles doses de radioactivité n'ont pas d'effet sur la santé.

Les décisions que nous prenons aujourd'hui engagent l'avenir. Les déchets durablement radioactifs posent de sérieuses questions auxquelles répond le soin avec lequel ils sont traités et stockés et les réacteurs de la quatrième génération, les surgénérateurs, multiplieront par près de cent les sources d'énergie nucléaire disponibles. Nos décisions intéressent également le monde entier et particulièrement les pays en développement, qui ont besoin d'énergie et qui

1. Dans le cas des réacteurs à eau comme ceux qui sont en exploitation en France ou au Japon. Les réacteurs de Tchernobyl sont d'un type différent.

seront parmi les premiers touchés par les effets du réchauffement climatique. C'est dans ce contexte qu'il convient de se demander si le risque nucléaire est si grave qu'il est radicalement inacceptable. Si la réponse est positive le seul but qui vaille est d'arrêter toute production d'électricité nucléaire. Ce serait se moquer que de justifier une diminution du nombre de réacteurs nucléaires par la volonté de diminuer le risque.

Si le risque n'est pas formellement exclu, il faut se demander de combien de réacteurs nucléaires la France a besoin. On s'égarerait en ne parlant que d'électricité. C'est d'énergie qu'il faut parler : de production, de consommation et d'économie d'énergie selon que la capacité nucléaire est plus ou moins grande. Trois scénarios sont présentés ayant comme objectif de beaucoup diminuer nos émissions de CO₂ et notre consommation de pétrole, gaz et charbon. Le premier, pour minimiser les dépenses, fait l'hypothèse d'une augmentation de la capacité nucléaire. Si l'on décidait de stabiliser ou de diminuer la capacité de production nucléaire, il faudrait dépenser davantage ; la différence se chiffre en dizaines de milliards d'euros par an.

Je ne veux pas asséner ces résultats comme vérité révélée. Les calculs, la méthode et les hypothèses sont présentés avec de nombreux renvois à un site Internet où l'on trouvera non seulement des explications complémentaires, mais aussi une feuille de calcul permettant à chacun de construire un tableau de ressources et d'emplois d'énergie selon ses propres hypothèses. Cette feuille de calcul n'a pas d'état d'âme. Elle peut représenter toute situation avec plus ou moins de nucléaire et même sans nucléaire du tout. Une autre feuille de calcul permet d'avoir une idée des dépenses de chauffage en fonction du degré d'isolation thermique, du mode de chauffage, du coût des équipements, du prix de l'énergie, etc. Elle évalue aussi la consommation d'énergie et les émissions de CO₂. Sans prétendre remplacer des modèles économiques

INTRODUCTION

complexes, ces feuilles de calcul permettent à tout le monde d'avoir des ordres de grandeur.

Il y a beaucoup à dire et à proposer sur la politique française de l'énergie : réglementation, impôt, politique de l'électricité. Elle devrait éviter de rendre obligatoires ou de financer sur fonds publics des décisions inutilement coûteuses. Un impôt décidé pour diminuer les émissions de CO₂ pourrait diminuer l'incertitude causée par l'imprévisibilité du prix du pétrole. Quant à l'organisation du marché de l'électricité, les motifs ne manquent pas de mettre la production nucléaire à l'abri de la concurrence commerciale ou financière.

Je me demande enfin au nom de quoi l'on doit refuser ou accepter le risque nucléaire. Cette question va bien au-delà des coûts. La réponse prend en considération l'indépendance énergétique, les émissions de CO₂, la construction européenne, les relations avec les pays en développement, la compétitivité industrielle de notre pays dans la concurrence mondiale, l'attitude à l'égard du progrès technique, le rapport à la nature, aux générations suivantes, la place de notre pays dans le monde...

Il apparaît alors que, si le nucléaire n'est pas refusé par principe, la meilleure solution pour la France n'est pas de diminuer sa capacité nucléaire. Elle n'est pas non plus de la stabiliser. Elle est d'*augmenter sa capacité nucléaire de 50 %* dans les trente ou quarante années à venir, c'est-à-dire de décider dès maintenant de construire deux EPR par an.

CHAPITRE I

Le cadeau que la nature fait à l'homme, s'il sait le trouver : l'énergie surabondante

Il a fallu à la nature des millions d'années pour produire pétrole, gaz et charbon dont il est très facile de tirer de l'énergie en les brûlant. Aujourd'hui, elle nous invite à trouver de l'énergie au cœur même de la matière. À masse égale, l'énergie dégagée par une réaction nucléaire peut être un million de fois plus grande que l'énergie produite par des combustibles : un gramme d'uranium produira autant d'énergie qu'une tonne de pétrole.

Après les découvertes des sciences fondamentales du début du xx^e siècle, les savants et les ingénieurs ont extrait de la matière des quantités phénoménales d'énergie pour en faire des armes dévastatrices. En même temps, ils ont découvert dans la matière elle-même des mécanismes permettant de contrôler et de pacifier cette production d'énergie. En observant les événements qui se déroulent à l'échelle de l'atome, on comprend pourquoi, dans un réacteur tel que ceux qui sont en fonctionnement aujourd'hui en France, une réaction nucléaire explosive n'est pas possible et pourquoi un accident comme celui de Fukushima est à la fois possible et très peu probable.

Parler d'énergie nucléaire sans rappeler qu'il s'agit de l'énergie dégagée par les transformations de noyaux d'atomes, je ne saurais faire. Et l'on verra comment la nature s'est arrangée pour qu'il soit possible de stabiliser une réaction en chaîne *a priori* instable. Ce n'est pas compliqué et c'est assez fascinant.



Lorsqu'un neutron cogne un noyau

Les noyaux des atomes sont formés de protons et de neutrons. Créer des corps instables en bombardant des noyaux avec des neutrons, c'est sur ce principe que fonctionnent les réacteurs nucléaires.

Dans la nature tout est vibration. Le noyau est parcouru de vibrations internes et toutes les particules peuvent agir comme une onde. Si le neutron, agissant comme une onde, entre en résonance avec les vibrations internes du noyau, il est absorbé par celui-ci ou il le casse. Sinon, il rebondit sur lui¹.

Quand un noyau absorbe le neutron, il peut devenir instable. Pour devenir plus stable, il transforme parfois un de ses neutrons en proton en émettant un électron. Ce faisant il change de nature.

Toute réaction atomique émet une quantité d'énergie qui correspond à une diminution de la masse de matière². Cette énergie est évacuée par les rayonnements connus sous le nom de rayonnements alpha, bêta, gamma et rayonnements de neutrons. Lorsqu'un rayonnement est absorbé par de la matière, l'énergie cinétique des particules et l'énergie électromagnétique se transforment en chaleur. La quantité

1. Le phénomène de résonance donne des résultats spectaculaires. L'exemple le plus connu est celui d'une troupe de soldats marchant au pas sur un pont. Comme tous les corps, le pont est élastique. Il vibre donc autour de sa position d'équilibre, tellement peu que l'on ne s'en rend pas compte. Pourtant, si cette marche cadencée entre en résonance avec les fréquences de vibration du pont, celui-ci peut s'écrouler avant que la troupe n'ait traversé la rivière. On ne voit donc pas de troupe traverser un pont en marchant au pas.

2. $E=mc^2$: si la réaction nucléaire conduit à diminuer la masse de m , la quantité d'énergie évacuée par les rayonnements sera égale au produit de cette diminution de masse par le carré de la vitesse de la lumière.



d'énergie dégagée est énorme : un gramme d'uranium fournit autant d'énergie qu'une tonne de carburant : un million de fois plus, pour la même masse.

**Nature des rayonnements ;
comment s'en protéger**

– Le « rayonnement alpha » est l'émission de particules relativement lourdes, des noyaux d'hélium formés de deux neutrons et de deux protons. Il est arrêté par quelques millièmes de millimètre de matière solide ou quelques centimètres d'air. Il n'est donc dangereux que si le corps radioactif est aspiré ou ingéré car, dans ces conditions, les particules d'hélium percutent les cellules avec toute leur énergie et leur masse.

– Le « rayonnement bêta » est l'émission d'électrons ou d'autres particules semblables mais chargées positivement, les positons. Ceux-ci sont arrêtés par quelques centimètres de matière ou quelques mètres d'air. Il n'est donc pas difficile de s'en préserver, si l'on est informé de leur présence.

– Les « rayons gamma » sont comme des rayons X très énergétiques ; on peut dire que ce sont des ondes ou bien des émissions de photons. Il est plus difficile de s'en protéger que des rayonnements alpha ou bêta car ils se propagent à peu près librement dans l'air. Ils sont atténués d'un facteur 1000 après la traversée d'environ 10 cm de plomb, 45 cm de béton ou 105 cm d'eau. Après 3 m d'eau, leur intensité est divisée par un milliard.

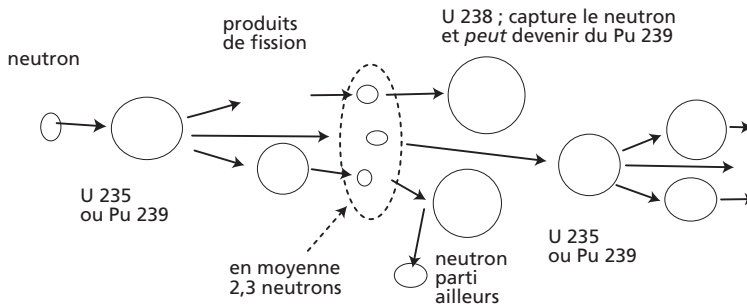
– Les neutrons, pour être efficacement arrêtés, doivent être au préalable ralentis par des corps légers comme les atomes d'hydrogène de l'eau avant d'être capturés par des corps comme le bore, avides de neutrons sans devenir fortement radioactifs.

À chaque étape depuis la mine d'uranium jusqu'au stockage des déchets, la source du rayonnement est bien connue et bien confinée. Ce n'est qu'en cas d'accident grave que sont dispersées des matières radioactives, soit dissoutes dans l'eau, soit transportées par l'air ou par l'eau sous forme de gaz ou de très fines particules ou gouttelettes. Une fois disséminées, les matières radioactives continuent d'émettre des

rayonnements avec une intensité qui diminue plus ou moins vite avec le temps.

Pour s'en protéger, il suffit d'interposer entre soi-même et la source du rayonnement de l'air, de l'eau ou une matière solide, très peu s'il s'agit de rayonnement alpha ou bêta, davantage s'il s'agit de rayonnement gamma ou neutronique. Il est donc facile de s'en protéger *si l'on sait où se trouvent les sources*. Il faut surtout éviter de les laisser entrer dans le corps, par l'alimentation ou par la respiration.

Les neutrons ralentis sont plus efficaces



U 238 : uranium 238
Pu 239 : plutonium 239

L'uranium naturel est un mélange de deux isotopes¹ d'uranium, 99,3 % d'uranium 238, quasi stable, et 0,7 % d'uranium 235, instable.

1. Deux atomes sont dits isotopes si leurs noyaux ont un nombre égal de protons mais des nombres différents de neutrons. « Uranium 238 » ou « U 238 » indique que le noyau de cet isotope de l'uranium comporte un total de 238 neutrons et protons.

Les neutrons jaillissent d'une réaction nucléaire à la vitesse de 20 000 km par seconde. Ils méritent leur qualificatif de «rapides». Quelques-uns provoquent une fission de l'uranium 235. Chaque fission génère en moyenne 2,3 neutrons. Mais, avec cette énergie, ils rebondissent pour la plupart sur les noyaux d'uranium 238 ou sont capturés, ce qui peut donner naissance à du plutonium 239, qui est fissile. Qu'ils rebondissent ou soient capturés, les neutrons sont perdus sans causer la fission d'uranium 235 ni de plutonium 239. Une réaction en chaîne n'est pas possible.

Un peu par hasard Fermi s'est rendu compte que, sur l'uranium 235, un neutron ralenti est beaucoup plus efficace qu'un neutron rapide. Cette découverte (avec celles de corps plus lourds que l'uranium) lui a valu le prix Nobel. Si les neutrons sont ralentis à la vitesse de 2 km par seconde, certains d'entre eux sont absorbés par l'uranium 238, générant peu de plutonium 239. Un peu plus de la moitié (55 %), en heurtant des noyaux fissiles d'uranium 235 ou de plutonium 239, causent des fissions qui génèrent d'autres neutrons. La réaction en chaîne peut se développer à condition d'éviter une trop grande perte de neutrons pendant qu'ils traversent le corps qui les ralentira, le modérateur.

Dans les réacteurs en fonctionnement en France, le modérateur est tout simplement l'eau qui traverse le cœur du réacteur pour en emporter la chaleur. L'eau ralentit efficacement les neutrons lorsqu'ils rebondissent sur les noyaux d'hydrogène des molécules H₂O.

Mais les neutrons peuvent aussi être absorbés par le noyau d'hydrogène qui se transforme en noyau de deutérium. Il risque de ne pas en rester suffisamment pour entretenir la réaction en chaîne. Pour augmenter la probabilité de fission, on multiplie par un facteur 5 à 6 la proportion d'uranium 235 fissile dans le milieu. Il suffit de la porter de 0,7 % à 3 ou 5 % pour faire fonctionner un réacteur à eau légère.



Il est possible de faire fonctionner un réacteur avec de l'uranium naturel (non enrichi) à condition d'utiliser de l'eau lourde pour évacuer la chaleur. Dans l'eau lourde l'hydrogène de la molécule d'eau est remplacé par un deutérium, dont le noyau a deux neutrons. Celui-ci peut encore absorber un neutron, mais il n'en a guère envie.

Il est aussi possible d'utiliser de l'uranium naturel dans des réacteurs où les neutrons sont ralentis par des noyaux de carbone et les calories extraites par un gaz comme le gaz carbonique.

On a découvert qu'à Oklo au Gabon plusieurs réacteurs naturels avaient fonctionné pendant 150 000 ans il y a 2 milliards d'années, à une époque où la teneur d'uranium 235 était encore de 5 % ; les neutrons étaient ralentis par de l'eau.

Pourquoi la réaction en chaîne est stable

Si, après la fission d'un noyau, *exactement un* neutron (pas plus, pas moins) cause la fission d'un autre noyau, la réaction en chaîne se poursuit calmement. Au-delà de un, elle s'emballe ; en deçà, elle s'arrête. Dans l'un et l'autre cas, cela va très vite : il suffit de quelques millisecondes.

Si l'équilibre était instable, il ne serait pas possible à l'homme de réagir assez vite. Mais il se trouve que *des mécanismes naturels ont pour effet que la réaction nucléaire est stable*.

Après la fission d'un noyau de matière fissile (uranium, plutonium ou autre), l'émission par les produits de fission de quelques neutrons ne se fait pas immédiatement mais après un délai de quelques secondes. Ce sont les neutrons « retardés ». En quelque sorte, le réacteur prévient lui-même de ce



qui va se passer et laisse aux contre-réactions naturelles et au réglage par l'homme le temps d'agir.

Lorsque la température s'élève, les vibrations internes des noyaux d'uranium 238 (la version la plus stable de l'uranium) changent et ces noyaux deviennent capables d'absorber beaucoup plus de neutrons, ce qui ralentit la réaction en chaîne. C'est l'effet Doppler.

Un réacteur nucléaire utilisant de l'uranium naturel ne peut donc jamais se transformer en bombe atomique. C'est physiquement impossible car les neutrons qui alimentent la réaction en chaîne seront absorbés par l'uranium 238. Le combustible des armes nucléaires est composé d'uranium 235 ou de plutonium 239 presque purs.

Dans les réacteurs à eau comme ceux qui sont en fonctionnement en France, un autre phénomène contribue à la stabilité de la réaction. L'élévation de la température provoque la dilatation thermique de l'eau, ce qui a pour effet que les neutrons, moins ralentis, perdent de leur efficacité – on dit que le « coefficient de vide » est négatif.

Ces deux effets naturels permettent d'éviter l'emballement ou l'étouffement de la réaction.

Par ailleurs, l'opérateur du réacteur règle la position des barres de contrôle qui absorbent plus ou moins de neutrons dans le cœur du réacteur.

Tout cela permet l'exploitation des réacteurs dans des conditions normales. Si les circuits de refroidissement sont en panne, la température s'élève au point que l'eau se vaporise. Les neutrons ne sont plus ralentis. Ils ne peuvent plus faire fissionner les atomes d'uranium. Le coefficient de vide, qui permet de réguler la réaction en fonctionnement normal, arrête donc carrément la réaction en chaîne en cas de problème.

Les REP, réacteurs à eau pressurisée

Cuve, barres de contrôle, zirconium, circuit primaire, circuit secondaire, corium, on parle de tout cela en cas d'accident. De quoi s'agit-il ?

En France les réacteurs en fonctionnement sont des REP, réacteurs à eau sous pression.

L'uranium naturel est d'abord « enrichi » en uranium 235, qui est fissile, dans l'usine de Tricastin. Le procédé utilisé jusqu'à présent consiste à produire du fluorure d'uranium, qui est gazeux, puis à séparer les fluorures d'uranium 235 et 238 en les faisant diffuser à travers une paroi poreuse. Il faut refaire l'opération plus de mille fois pour obtenir la teneur voulue, ce qui consomme beaucoup d'énergie : la production de deux réacteurs pour approvisionner la soixantaine de réacteurs nucléaires français. Désormais, l'enrichissement se fera avec un autre procédé, l'ultracentrifugation, qui consomme quarante fois moins d'énergie.

Puis le fluorure d'uranium est transformé en une poudre noire d'oxyde d'uranium, compactée pour former des pastilles cylindriques de 1 cm³ environ. Celles-ci sont empilées dans des tubes cylindriques de 3 à 4 m de long, faits d'un alliage qui contient ce fameux zirconium qui, à haute température, réagit avec la vapeur d'eau pour former de l'hydrogène¹.

Les tubes sont assemblés en faisceaux en laissant libre l'emplacement des barres de contrôle qui permettent de réguler le fonctionnement du réacteur et qui, en cas de difficulté, tombent automatiquement et bloquent la circulation des neutrons.

1. Cet alliage a été préféré à l'acier inoxydable car il absorbe moins les neutrons.

global du système énergétique de la France » chaque fois qu'un réacteur nucléaire est remplacé par des éoliennes ou du photovoltaïque. En réalité cette affirmation cache le fait qu'une considération économique (la gratuité de l'énergie du vent et du soleil) a été subrepticement introduite dans un raisonnement technique (la comparaison de rendements énergétiques). Ce mélange des genres, délibéré ou naïf, est à l'origine d'une illusion d'optique, d'une mystification qui fait florès dans la littérature antinucléaire et dans les documents officiels. Si l'on introduit une considération économique, il faut aller au bout et parler aussi du coût de l'investissement et de celui de l'intermittence de ces énergies inconstantes.

Si l'on compare une production nucléaire à une production d'électricité à partir de gaz, le rendement a effectivement une réalité physique. Il donne la préférence au gaz puisque le rendement énergétique d'une centrale au gaz dépasse 50 %. Mais, d'un point de vue économique, cette comparaison n'a guère de sens car l'énergie dégagée par une réaction nucléaire n'a en elle-même aucune valeur. Par ailleurs, le gaz, qui est importé, entre pour les trois quarts dans le coût de l'électricité alors que le minerai d'uranium entre pour seulement quelques pour-cent dans celui de l'électricité nucléaire. Si l'on pense à l'autonomie énergétique du pays, la notion de rendement ne sert donc à rien ; elle est même trompeuse. Il en est de même si l'on pense aux émissions de CO₂. Pourtant la réglementation thermique du bâtiment l'utilise de la même façon quelle que soit la façon dont est produite l'électricité – un beau succès des opposants au nucléaire¹.

1. Voir au chapitre XI.