

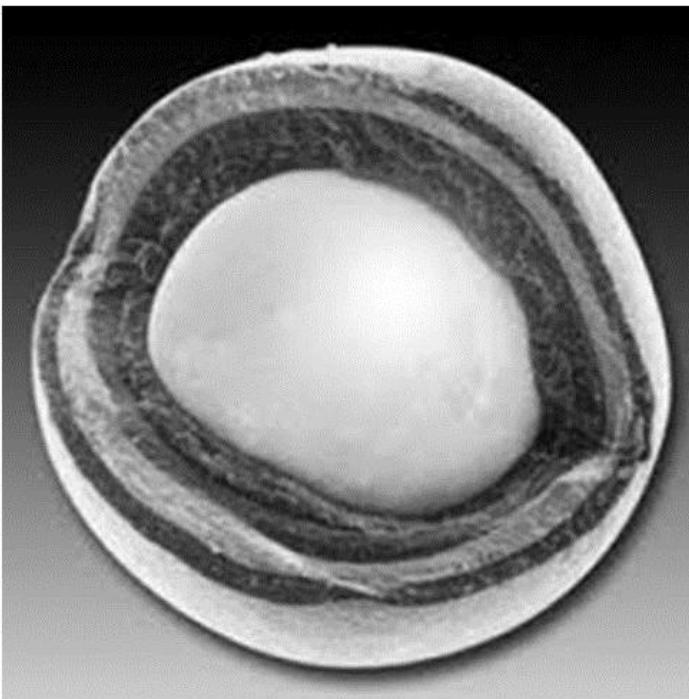
Chapitre 7

Le thorium et les technologies nucléaires de demain

La compagnie d'électricité de New York, Consolidated Edison Company (ConEd), a mis en service en 1962 la première centrale nucléaire « moderne » à Indian Point, à 40 km au nord de New York sur le fleuve Hudson. Il s'agissait d'un **réacteur à eau pressurisée (REP)** d'une puissance électrique nucléaire de 152 mégawatts. La centrale avait démarré avec du thorium et de l'uranium fortement enrichi (comme initiateur). Au début, tout allait bien. Lorsque je suis arrivé chez ConEd en 1963 – mon premier emploi – les soucis avaient déjà commencé.

Les ingénieurs étaient satisfaits d'une machine fonctionnant bien, mais le physicien que j'étais devait tenter de comprendre pourquoi le cœur de thorium du réacteur s'essoufflait rapidement et perdait de son élan. Au lieu des 471 jours de fonctionnement à pleine puissance promis par le fournisseur Babcock Wilcox, le réacteur arrivait en bout de course après seulement 250 jours. Il a fallu déchanter: le thorium ne tenait pas ses promesses. L'erreur sur le thorium résultait d'une connaissance insuffisante des données physiques (sections efficaces neutroniques) et des particularités exotiques liées à un élément annexe, le protactinium. Depuis lors, la physique du thorium a été maîtrisée. Pour la deuxième charge, on est donc passé à la solution « tout uranium » de la maison Westinghouse.

Quelques années plus tard, auprès de mon deuxième employeur, General Atomics en Californie, j'ai retrouvé le thorium à la centrale nucléaire de Fort St. Vrain, puissante de 330 mégawatts, dont le réacteur était modéré au graphite, refroidi par de l'hélium à 700 degrés et alimenté avec du thorium, et qui a fonctionné entre 1976 et 1989. Une installation semblable a été exploitée à Schmelzhausen en Allemagne à la même époque. Le cœur de ces réacteurs dits « **à haute température** » (**HTR**) comprenait des centaines de millions de microsphères de carbure de thorium et d'uranium d'un demi-millimètre, enrobées dans de l'oxyde de silicium et de carbone pyrolytique pour un diamètre externe inférieur à un millimètre.



PARTICULE NUCLÉAIRE ENROBÉE

**Diamètre: un demi-millimètre
Un milliard de particules dans un réacteur hélium haute température**

Du centre vers l'extérieur:

- Noyau du combustible
- Pyrocarbone poreux
- Pyrocarbone dense
- Carbure de silicium
- Pyrocarbone dense

Ces différentes couches protègent le combustible jusqu'à de très hautes températures et empêchent la fuite de substances radioactives

(Image: Idaho National Laboratory)

L'utilisation du thorium comme combustible de centrales nucléaires a été au XX^e siècle un succès en termes de faisabilité technologique. Techniquement faisable, oui, mais difficile et cher. En amont, la dureté mécanique extrême de l'oxyde de thorium rend la fabrication du combustible onéreuse. En aval, des problèmes similaires sont rencontrés dans le recyclage du combustible usagé en raison de la forte radioactivité et des difficultés techniques de broyage et de dilution des oxydes. Aux États-Unis, ce sont des raisons économiques et commerciales qui ont conduit à l'abandon de la filière des réacteurs à haute température au thorium; en Allemagne, c'est le parti socialiste au pouvoir qui a tué cette technologie pour des raisons politiques par le biais de chicaneries administratives.

Le retour en grâce du thorium?

Après Indian Point, plus personne ne s'est intéressé à l'utilisation du thorium dans des **réacteurs à eau pressurisée**, une technologie qui a conquis le monde (dont la France) en se basant uniquement sur l'uranium, ressource abondante et qui le restera encore longtemps, comme on l'a vu au chapitre 3. Depuis quelques années, la société norvégienne Thor Energy a entrepris des études et des essais techniques pour relancer cette option. En effet, la Norvège dispose de grandes réserves naturelles de thorium qu'elle envisage de mettre en valeur en tablant sur une pénurie d'uranium – très probablement illusoire – et sur le fait que n'importe quelle centrale à eau pressurisée peut être convertie de l'uranium au thorium, ce qui représente un grand marché potentiel. Mais les difficultés techniques associées au thorium augmentent les coûts – au point que le prix de l'uranium devrait tripler, voire quadrupler pour que le thorium devienne ici compétitif. Les avantages offerts par le thorium – volume de déchets radioactifs plus faible et toxicité radioactive à long terme plus courte grâce à la quasi-absence de plutonium – ne sont pas suffisamment déterminants pour faire la différence.

Quant à la **filière des réacteurs à haute température** au thorium, elle a continué d'être développée à petite flamme au cours des dernières décennies au Japon, en Chine, en Europe et aux États-Unis. La Chine devrait mettre en service vers 2018 une première centrale expérimentale de 250 mégawatts, mais qui sera initialement alimentée en uranium et non pas en thorium. Ironie de

l'histoire, une technologie prometteuse des années 1960 resurgit maintenant dans la liste des « technologies d'avenir ». La Suisse contribue depuis longtemps au développement des réacteurs à haute température dans un cadre international, maintenant sous le programme Génération IV.

Le 16 juin 2011, le conseiller national valaisan Oskar Freysinger a déposé une motion parlementaire soutenue par de nombreux collègues de tous bords (y compris l'ingénieur démocrate-chrétien Jacques Neirynck de tendance antinucléaire) qui demandait au Conseil fédéral un plan d'action pour la recherche et le développement en Suisse des réacteurs à haute température utilisant le thorium. Après la publication d'un excellent ouvrage de vulgarisation scientifique louant les avantages du thorium⁹⁴, la presse s'est elle aussi intéressée à cette filière⁹⁶.

Thorium: panacée ou trompe-l'œil?

Oui, le thorium offre plusieurs **avantages** intéressants:

1. En amont, des ressources naturelles abondantes, beaucoup plus riches que celles de l'uranium, et comme dans le cas de l'uranium des ressources qui se situent dans des pays responsables et fiables comme l'Australie, le Canada, la Norvège et l'Inde.
2. Ensuite, la possibilité d'être utilisé avec plus de flexibilité et d'efficacité que l'uranium dans une multitude de types de réacteurs et avec de meilleurs taux de surgénération.
3. En aval, des déchets radioactifs de plus courte durée de vie que ceux de l'uranium, grâce à l'absence de plutonium, ce qui facilite le stockage définitif.
4. En fin de compte, un risque de prolifération marginalement plus faible que celui associé à l'uranium (et plutonium), grâce au deuxième désavantage cité ci-dessous. Car l'uranium-233 provenant du thorium se prête aussi à la fabrication d'une bombe; les Américains l'ont expérimenté avec succès en 1955 dans le désert du Nevada⁹⁸.

En contrepartie, le thorium comporte plusieurs **désavantages** sérieux qui compliquent son utilisation:

1. Sous forme de combustible solide (en pastille, en aiguille), l'extrême dureté des compositions utilisées, notamment les oxydes, rend sa fabrication et sa récupération par retraitement chimique extrêmement difficiles et onéreuses.
2. Le thorium ne produit pas d'énergie en soi; c'est l'uranium-233 qu'on en extrait qui le fera dans un réacteur, après retraitement. Or cet isotope uranium-233 est après sa séparation, rapidement et de plus en plus intensément, accompagné d'un autre isotope, l'uranium-232

⁹⁴ Jean-Christophe de Mestral, *L'atome vert – Le thorium, un nucléaire pour le développement durable – Après Fukushima, passons de l'uranium au thorium*, Éditions Favre, 2011. Voir aussi Jean-Christophe de Mestral, « Une alternative au nucléaire: la filière du thorium », *Le Temps*, 30 mars 2011.

⁹⁶ « Le thorium est-il l'avenir du nucléaire? La filière le croit », Tribune de Genève, 16 janvier 2012 ; « Le thorium et ses apologistes », *L'Agefi*, 2 juillet 2012.

⁹⁸ Bruno Pellaud, *The Thorium Nuclear Fuel Cycle - Proliferation and safeguards issues - An assessment of thorium nuclear fuel cycles and systems in terms of proliferation risks [Thorium et prolifération]*, Étude pour l'organisation norvégienne Thor Energy, 2007.

qui est lui *extrêmement* radioactif. Ce dernier complique beaucoup la manipulation et la fabrication du combustible, beaucoup plus que dans le cas de l'uranium et du plutonium.

Ce sont ces désavantages qui ont conduit à l'abandon du thorium dans le passé. Et non pas pour la raison que les partisans du thorium aiment à avancer avec complaisance: par le manque d'utilité pour les armes nucléaires. La filière des réacteurs eau-uranium ne présente guère plus d'utilité; preuve en est l'absence d'inquiétude à la donner à la Corée du Nord et à l'Iran. Si cette dernière filière a triomphé sur le marché, c'est qu'elle n'a pas les désavantages cités ci-dessus pour le thorium.

Donc thorium prometteur? Oui, car on peut l'utiliser dans n'importe quel type de réacteurs, ce qui étendra le champ d'application de la fission nucléaire en lui ouvrant des perspectives quasi illimitées en ce qui concerne les ressources naturelles. Récapitulons les types de réacteurs nucléaires qui entrent en ligne de compte pour l'utilisation du thorium.

Les réacteurs conventionnels à eau. La faisabilité en a été démontrée tant dans la centrale new-yorkaise d'Indian Point que dans une centrale expérimentale américaine (Shippingport). Les Norvégiens procèdent donc actuellement à de nouveaux essais d'irradiation. L'obstacle sera longtemps économique (coût plus élevé du kilowattheure), à moins que des mesures contraignantes ne soient imposées sur la durée de vie des déchets radioactifs. Il est tout aussi improbable que le prix de l'uranium augmente de manière durable au-delà de 400 dollars le kilogramme de trioxyde (depuis quelques années, le prix fluctue entre 100 et 120 dollars). Conclusion: ces réacteurs resteront encore longtemps fidèles à l'uranium, bien que l'utilisation du thorium y soit possible sans modification profonde.

Les réacteurs à haute température refroidis à l'hélium. Là aussi, la faisabilité du thorium a été démontrée tant dans la centrale américaine de Fort St. Vrain que dans celle de Schmehausen en Allemagne, tant dans la centrale expérimentale de Peach Bottom en Amérique que dans celle de Juliers en Allemagne.

Parmi ces candidats, grâce à ses excellentes caractéristiques intrinsèques de sécurité, son application potentielle à des processus industriels à haute température et la possibilité d'utiliser des turbines à gaz à cycle direct, l'intérêt pour ce type de réacteur a aujourd'hui considérablement augmenté. Les Japonais et les Chinois exploitent de petits réacteurs expérimentaux qui ont encore renforcé le degré de confiance dans la technologie. Néanmoins, *ces petites machines utilisent de l'uranium, comme les deux projets « haute température-hélium » de Génération IV*. Le thorium (re)viendra, mais plus tard. Si les HTR devaient réussir une percée sur le marché des centrales, ce serait donc uniquement sur la base de leurs caractéristiques propres, des caractéristiques favorables qui seront tout aussi valables pour le thorium que pour l'uranium:

1. Sécurité supérieure à celle des réacteurs à eau, grâce surtout à l'utilisation des particules de combustible enrobées qui élimine pratiquement le risque de fonte du cœur et de réactions violentes hydrogène-oxygène comme à Fukushima;
2. Meilleur rendement thermique que les réacteurs à eau, c'est-à-dire la possibilité de transformer en électricité une plus grande proportion de la chaleur produite par le réacteur, quelque 60% au lieu des 37% des centrales à eau;

3. L'hélium, un gaz noble et inerte, autorise des températures allant jusqu'à 1000 °C, ce qui ouvre la porte à des applications industrielles telles que la production d'hydrogène.

Constatation: de manière habile, mais quelque peu abusive, les évangélistes du thorium s'accaparent volontiers les avantages de l'HTR, alors qu'ils ne sont en rien liés au choix du combustible.

Les réacteurs à sels fondus. Un réacteur nucléaire à sels fondus (RSF, en anglais *molten salt reactor*) est un type de réacteur nucléaire dans lequel le combustible nucléaire se présente sous forme de sel fondu à bas point de fusion. Le sel fondu joue à la fois le rôle de combustible, de caloporteur et de barrière de confinement. Le réacteur peut être à neutrons lents (ralenti par du graphite) ou à neutrons rapides⁹⁹.

Le concept a été évalué et retenu au sein du Forum international Génération IV. Il fait actuellement l'objet d'études et de recherches en vue d'un déploiement comme réacteur de quatrième génération, avec cependant une date prévisionnelle d'industrialisation plus lointaine que celles de certains autres concepts étudiés. Le réacteur prend la forme d'une cuve métallique contenant le sel à haute température (600 à 900 °C), mais à pression ambiante. *Le combustible fissile peut être de l'uranium 235, du plutonium ou de l'uranium 233 issu de la conversion du thorium.* Le concept associe au réacteur une usine de traitement du combustible usagé sur le même site, chargée de séparer les produits de fission (ainsi que le composant fissile) *au fur et à mesure* de leur production en réacteur. C'est là un avantage majeur sur l'ensemble du cycle de combustible, réalisable grâce à l'utilisation d'un combustible et caloporteur sous forme liquide. C'est un concept très compétitif sur le papier.

De nombreuses propositions de conception de centrale nucléaire sont fondées sur ce type de réacteur, mais il n'y a eu que peu de prototypes construits et aucun n'est en service depuis les années 1970. L'expérience manque, même à l'échelle du laboratoire. Il n'existe pas de verrou technique majeur, mais de nombreux éléments théoriques ou expérimentaux restent à confirmer à l'échelle industrielle, ce qui devrait être fait dans le cadre du programme Génération IV.

Les systèmes avec accélérateur. L'*Accelerator Driven System* ou ADS est un **réacteur nucléaire** piloté par un **accélérateur** de particules. Dans un tel système, tout ou partie des neutrons de fission sont produits à l'entrée du réacteur par spallation d'un noyau lourd (l'alliage plomb-bismuth par exemple) par des protons issus d'un accélérateur de particules. L'énergie de fission peut être récupérée de manière classique via un échangeur de chaleur, une turbine et un générateur d'électricité¹⁰⁰. Du côté nucléaire, il y a donc trois éléments majeurs: l'accélérateur de protons, la cible de plomb-bismuth et le réacteur.

L'ADS appartient à la famille des réacteurs à neutrons rapides (*RNR*) *pouvant utiliser du plutonium, du thorium ou de l'uranium* selon un cycle direct ou de surgénération. Ce mode a été largement promu sous l'appellation d'amplificateur d'énergie de Rubbia.

En ce qui concerne les avantages, on a présenté les systèmes ADS comme plus fiables que les réacteurs conventionnels pour la simple raison que la coupure du faisceau de protons arrête toute réac-

⁹⁹ Wikipédia, juillet 2012, « Réacteur nucléaire à sels fondus ».

¹⁰⁰ Wikipédia français, juillet 2012, « Réacteur nucléaire piloté par accélérateur ».

tion nucléaire. Oui, mais ce n'est pas là le risque principal associé aux réacteurs conventionnels, puisqu'avec ceux-ci un arrêt rapide se fait même automatiquement par augmentation de température. Le risque – dans un amplificateur d'énergie comme dans un réacteur conventionnel – c'est la chaleur résiduelle qui continue d'être produite *après* l'arrêt du réacteur. Pour une même énergie produite, la puissance résiduelle est la même dans tous les réacteurs à fission, aussi pour l'ADS. Or cette puissance résiduelle est en bonne partie à l'origine du risque de fusion du cœur en cas de défaillance de refroidissement après l'arrêt du réacteur, comme dans le cas de Fukushima. De plus, le taux de multiplication des neutrons de l'ADS est très proche de 1, donc un faible refroidissement après l'arrêt du système pourrait faire en sorte que le système diverge à nouveau. Il est donc impossible de démontrer que les systèmes ADS sont plus sûrs que les réacteurs sans accélérateur.

Les autres avantages que l'on prêtait généreusement à l'ADS étaient en fait ceux du thorium – un combustible nucléaire pouvant servir de nombreuses technologies comme nous l'avons vu. Les technologies requises pour construire l'amplificateur d'énergie ont toutes été démontrées à des échelles différentes. Néanmoins, de nombreuses difficultés techniques auraient été à surmonter avant que l'ADS complet puisse devenir économique et fiable.

Avec le temps, la promesse est devenue utopie. Le concept ADS de 1993 portait quelquefois le nom de « rubbiatron », du nom de Carlo Rubbia, physicien nucléaire, prix Nobel de physique et ancien directeur du CERN à Genève. Rubbia, caractère haut en couleur, volubile et habile communicateur, a su transmettre sa vision à une armée de disciples obnubilés¹⁰¹. En fin de compte, au vu des obstacles majeurs à surmonter, la communauté nucléaire – tant universitaire qu'industrielle – n'a pas retenu l'ADS dans la liste de projets d'avenir, ceux de Génération IV. Le rubbiatron est donc mort, pour de bonnes raisons d'ingénieurs.

Génération IV

Les réacteurs de Génération IV sont un ensemble de conceptions théoriques de réacteurs nucléaires actuellement à l'étude, qui ne pourront guère devenir disponibles commercialement avant 2030, voire 2050. Les réacteurs actuels en fonctionnement à travers le monde sont considérés de deuxième ou de troisième génération, ceux de première génération ayant été pour la plupart mis hors service. La recherche sur ces types de réacteurs a été officiellement lancée par le Forum international Génération IV (GIF) en 2001, et choisis sur la base de huit critères, entre autres la sécurité nucléaire, les coûts, la minimisation des déchets, l'utilisation optimale des ressources naturelles dans un contexte de développement durable¹⁰².

De nombreux types de réacteurs ont été considérés initialement, mais la liste a été réduite pour se concentrer sur les technologies les plus prometteuses et celles qui pourraient le plus probablement atteindre les objectifs de l'initiative Génération IV. Il s'agit de réacteurs à haute température refroidis à l'hélium, de réacteurs à neutrons rapides qui offrent la possibilité de brûler les déchets radioac-

¹⁰¹ Signalons ici l'excellent article du physicien genevois antinucléaire André Gsponer : « In memoriam: L'amplificateur d'énergie nucléaire de Carlo Rubbia (1993-2003) », publié dans *La Gazette Nucléaire*, No. 209/210, novembre 2003. Extraits: « *De surcroît, les autres avantages du rubbiatron se sont révélés être tout aussi illusoires dès le départ. Par un procédé habile, mais pas très honnête, Carlo Rubbia a attribué à son système des qualités qui ne sont pas fondamentalement liées à son projet de réacteur hybride, mais à des choix techniques tels que celui du thorium au lieu d'uranium comme combustible.* »

¹⁰² <http://www.gen-4.org/>

tifs de longue durée et de produire plus de combustible qu'ils n'en consomment. Un réacteur à eau de type avancé et le réacteur à sels fondus ont également été retenus. Le programme Génération IV s'intéresse de près à l'utilisation du thorium par le biais de ces différents types de réacteurs.

La Suisse participe également aux activités du programme Génération IV, et cela dans différents domaines¹⁰³. Jean-Marc Cavedon, chef du Département énergie nucléaire de l'Institut Paul Scherrer à Würenlingen, pense que c'est une bonne chose¹⁰⁴: « *Oui, avec conviction. Il nous revient de préparer des réacteurs nucléaires utilisant mieux les ressources d'uranium, et produisant moins de déchets ultimes.* »

Mieux que des utopies, les améliorations progressives

Le thorium va-t-il révolutionner l'énergie au XXI^e siècle? Non, répond clairement Rakesh Chawla, professeur en physique des réacteurs nucléaires à l'École polytechnique fédérale de Lausanne¹⁰⁵. « *L'utilisation industrielle de ce combustible suppose la mise au point de nouveaux surrégénérateurs, dont le coût ne peut être justifié économiquement aujourd'hui.* » Coût justifié ou pas, peu de pays, peu d'entreprises disposent des dizaines de milliards de dollars, d'euros ou de francs nécessaires pour se lancer dans l'aventure d'une nouvelle filière nucléaire. On le voit avec les projets de Génération IV qui, arrivés à une sorte de maturité technologique après toutes ces années, peinent à passer à la phase de réalisation. C'est simplement trop cher en soi, et seulement marginalement meilleur que la génération précédente. Les États-Unis ont perdu leur appétit, ayant galvaudé leur *leadership* nucléaire depuis longtemps à l'avantage de l'Europe et l'Asie. L'Europe a d'autres priorités et ne parviendra jamais à se mettre d'accord sur un projet prioritaire commun. En Asie, seule la Chine va de l'avant avec détermination, sûre de ses débouchés nationaux de par l'ampleur de ses propres besoins en électricité.

Je pense que la Chine donnera la priorité aux réacteurs à haute température, parce que ce seront les plus sûrs et les plus mûrs. Les plus mûrs parce qu'elle a acquis les droits à la technologie allemande du siècle dernier. De même que nous achetons aujourd'hui des panneaux solaires chinois d'excellente qualité à vil prix, dans trente ans, nous achèterons des centrales nucléaires chinoises encore plus sûres et économiques que la génération actuelle de centrales suisses qui arriveront en fin de vie à ce moment-là. Un premier pas vient d'être franchi avec la remise d'une offre commune franco-chinoise pour la construction de la prochaine centrale nucléaire britannique (centrale à eau).

Faute d'investissements dans des *technologies de rupture* – celles qui changent tout un domaine en quelques années comme l'électronique – nous nous dirigeons inexorablement vers une amélioration progressive des technologies existantes, celles des réacteurs nucléaires refroidis à l'eau, que l'on désigne de l'étiquette « Génération III+ ». Quand les risques de nouveaux investissements sont trop grands, quand la fiabilité d'un équipement et sa sécurité en utilisation priment, on améliore l'acquis, plutôt que de le remplacer. Depuis plus d'un siècle, de brillantes idées ont été développées et essayées pour remplacer le moteur Otto qui meut nos voitures. Il est toujours là. Avantageux, fiable, sûr, polluant et consommant de moins en moins. C'est pareil pour les réacteurs nucléaires à eau. Peut-être que le réacteur à haute température surfera sur une vague nouvelle dans une ou deux

¹⁰³ <http://www.bfe.admin.ch/forschungkernenergie/02748/04980/index.html?lang=fr>

¹⁰⁴ Interview, 18 janvier 2008, Bulletin du Forum nucléaire suisse.

¹⁰⁵ L'Agefi, « Le thorium et ses apologistes », 2 juillet 2012.

décennies. J'ai vécu la précédente vague de 1975, lorsque la compagnie américaine General Atomics pour laquelle je travaillais s'était adjugé onze intentions d'achat sur le marché américain pour de grandes centrales HTR de 1100 mégawatts. En fin de compte, tout s'est envolé: les compagnies d'électricité étaient devenues sceptiques envers cette technologie trop nouvelle et vendue à un prix trop élevé.

D'abord, la Génération III+

Certains protagonistes du thorium n'hésitent pas à dire que le nucléaire deviendra une énergie complètement verte si le secteur parvient à développer un nouveau concept industriel¹⁰⁶. Le livre de Jean-Christophe de Mestral reprend cette vision dans son titre¹⁰⁷. C'est aller un peu vite en besogne ; car, entre la diabolisation ambiante de l'énergie nucléaire (oui, basée sur l'uranium) et l'eldorado d'un « thorium vert », symbole d'un développement durable, il n'y a guère que le dossier des déchets radioactifs pour faire une différence. Oui, ils sont moins volumineux et de plus courte durée avec le thorium. Mais croit-on vraiment que la mouvance idéologique antinucléaire daignera « approuver » le thorium en se satisfaisant d'un stockage de déchets à l'échelle de 500 ans « seulement », au lieu de 5000 ans? Illusion. Pouvons-nous croire que les compagnies d'électricité se tourneront *pour cette seule raison* vers le thorium et les réacteurs encore nouveaux qui l'utiliseront – alors qu'un stockage définitif *adéquat et sûr*, prévu pour 5000 ans, ne sera guère plus grand et plus cher que celui prévu pour 500 ans?

Ce qui prime en termes d'obstacles technologiques et de coûts de développement, c'est le choix du type de réacteurs, et non pas le choix du combustible. Plusieurs types de réacteurs peuvent se servir soit de thorium soit d'uranium. Il est simplement contourné de se servir des vertus du thorium pour promouvoir des types de réacteurs exotiques et marginaux. Ami du thorium, oui, je l'ai toujours été. Mais assis dans le siège d'un patron de compagnie d'électricité, je me déterminerais d'abord sur la base de la fiabilité, de la sécurité et la compétitivité du type de réacteur qu'on m'offrirait. À court et à moyen terme, ce serait alors certainement un exemplaire de la Génération III+ fonctionnant à l'uranium, mais facilement convertible au thorium. Le physicien vaudois Jean-François Dupont a bien qualifié l'engouement exagéré de certains pour le thorium: « *Le thorium est un excellent combustible nucléaire, mais l'uranium tout autant. Les avantages prêtés au thorium de résoudre les questions de sécurité, de gestion des déchets et de prolifération sont surfaits. Ces mêmes problèmes peuvent être résolus avec le cycle de l'uranium. Si la société décide rationnellement, il n'y a aucune raison solide de se précipiter pour écarter l'uranium et adorer le thorium.* »

Et en guise de conclusion, dans le cadre du débat politique suisse, ne faut-il pas ajouter: **le haut niveau de sécurité atteint avec la Génération III+ ne justifie en aucun cas de fermer la porte au nucléaire dans la précipitation et de faire miroiter les lointains espoirs placés dans la Génération IV, certes tangibles et qui auront leur heure.**

¹⁰⁶ « Le thorium et ses apologistes », L'Agefi, 2 juillet 2012.

¹⁰⁷ Jean-Christophe de Mestral, *L'atome vert – Le thorium, un nucléaire pour le développement durable – Après Fukushima, passons de l'uranium au thorium*, Éditions Favre, 2011.