

# Bulletin 3

Septembre 2015

## Interview sur le développement du réacteur chinois HTR-PM

Page 4



Thorium: le combustible  
nucléaire de demain?

Page 8

Le nucléaire au profit  
de la recherche spatiale

Page 13

Le type VVER:  
rétrospective

Page 16

# Table des matières

<b>Editorial</b>	<b>3</b>	<b>Reflets de l'E-Bulletin</b>	<b>28</b>
Raison d'Être	3	En Suisse	28
		A l'étranger	29
<b>Forum</b>	<b>4</b>	<b>La der économique</b>	<b>33</b>
Réacteur à haute température refroidi au gaz: la Chine progresse dans la préparation de son avenir nucléaire	4	Les Trois Jeunes Détectives et la vision énergétique 2050	33
<b>Informations de fond</b>	<b>8</b>	<b>Couac!</b>	<b>36</b>
Réacteurs au thorium: possibilités et obstacles	8	Les prêcheurs anti-nucléaires allemands	36
Aux confins de notre système solaire et au-delà grâce à l'énergie nucléaire	13	<b>Nouvelles internes</b>	<b>37</b>
L'évolution des réacteurs russes à eau sous pression	16	In memoriam	
Tchernobyl, 29 ans après	20	Hommage au professeur Walter Winkler, ancien président de l'ASPEA, décédé à l'âge de 88 ans	37
<b>Revue de presse</b>	<b>25</b>	Troisième Rencontre du Forum: «L'acceptation n'est pas un critère»	38
Le Japon renoue avec l'énergie nucléaire	25	Annonce: Cours d'approfondissement 2015 du Forum nucléaire suisse	39
		<b>Pour mémoire</b>	<b>40</b>

## Impressum

### Rédaction:

Marie-France Aepli (M. A., rédactrice en chef); Beat Bechtold (B. B.);  
Max Brugger (M. B.); Peter Bucher (P. B.); Matthias Rey (M. Re.);  
Sandra Rychard (S. Ry); Michael Schorer (M. S.)

### Traduction:

Claire Baechel (C. B.); Dominique Berthet (D. B.);  
Thomas Menanteau (T. M.)

### Editeurs:

Michaël Plaschy, président  
Beat Bechtold, secrétaire général  
Forum nucléaire suisse  
Konsumstrasse 20, case postale 1021, CH-3000 Berne 14  
Tél. +41 31 560 36 50, Fax +41 31 560 36 59  
info@forumnucleaire.ch  
www.forumnucleaire.ch ou www.ebulletin.ch

Le «Bulletin Forum nucléaire suisse» est l'organe  
officiel du Forum nucléaire suisse et de la Société suisse  
des ingénieurs nucléaires (SOSIN).  
Il paraît 4 fois par an.

Copyright 2015 by Forum nucléaire suisse ISSN 1661-1470 –  
Titre clé: Bulletin (Forum nucléaire suisse) – Titre abrégé  
selon la norme ISO 4) – Bulletin (Forum nucléaire suisse).

La reproduction des articles est libre sous réserve  
d'indication de la source.  
Prière d'envoyer un justificatif.

© Photo de couverture: Shidao Bay Nuclear Power Plant

## Beat Bechtold

Secrétaire général du Forum nucléaire suisse



## Raison d'Être

«Black-out nucléaire», «arrêts d'urgence», «problèmes de sécurité», «panne totale»... la thématique obnubile actuellement les membres du Parti écologiste suisse. Et cela n'est pas un hasard: les Verts voient petit à petit tous leurs espoirs s'évanouir. Pour commencer, les prévisions indiquent que le parti aura du mal à conserver sa part de suffrages lors des prochaines élections fédérales et devrait faire partie des grands perdants des élections législatives. Ensuite, son initiative populaire pour la sortie du nucléaire devrait elle aussi échouer, tout comme l'an dernier l'initiative «Mühleberg à l'arrêt» dans le canton de Berne. Avec de telles perspectives, le parti devra garder sa bonne humeur y compris dans ses propres rangs s'il ne veut pas essayer à nouveau un refus sans appel de la population comme cela a été le cas pour l'initiative «Remplacer la taxe sur la valeur ajoutée par une taxe sur l'énergie». Enfin, concernant la limitation de la durée d'exploitation, les écologistes n'ont pas réussi à convaincre la commission compétente du Conseil des Etats qui s'est réunie mi-août dans le cadre de l'étude du projet de Stratégie énergétique 2050.

Le ton a également été donné lors du plénum du Conseil des Etats à la session d'automne: à l'issue des longs débats qui se sont déroulés en décembre 2014 au Conseil national au sujet de la Stratégie énergétique, une faible majorité de la Commission de l'énergie du Conseil des Etats a décidé de ne pas suivre le Conseil national sur deux points essentiels de la loi sur l'énergie nucléaire, et a rejeté le concept d'exploitation à long terme et la limitation de la durée d'exploitation des centrales nucléaires.

Il n'y a plus qu'à espérer que les politiques de la Chambre haute se rallieront à la majorité de la commission, et souscriront par la même occasion aux arguments du Conseil fédéral concernant la sécurité juridique et celle des investissements. Il faut bien comprendre que ni un concept d'exploitation à long terme ni une limitation de la durée de fonctionnement ne profiteront à la sécurité d'exploitation. Le système actuel, qui prévoit une durée d'exploitation illimitée avec une obligation de procéder à des travaux de rééquipement continus, a fait ses preuves et a permis à la Suisse d'accéder à un standard de sécurité élevé en comparaison internationale. Et si le Conseil des Etats raye également de la loi l'interdiction de construire de nouvelles installations, il ne sera plus question non plus d'une interdiction technologique qui serait parfaitement indigne de la Suisse. Cela permettrait aux Verts de conserver, pour l'heure, leur raison d'être.

Quoiqu'il en soit, les Verts sont encore là. Et espérons qu'ils le seront aussi longtemps que la Suisse possèdera des centrales nucléaires en exploitation. Grâce à leur production d'électricité pauvre en CO<sub>2</sub>, les centrales suisses, contrairement aux anti-nucléaires, contribuent à la protection à long terme de l'environnement et du climat et garantissent à la population et à l'économie suisses une énergie en ruban stable et fiable, et ce depuis près d'un demi-siècle.



## Interview du professeur Wang Haitao

Université Tsinghua à Pékin et

### Chen Meicen

Porte-parole de la centrale nucléaire de Shidao-Bay

Interview menée par Guo Wentao<sup>1</sup>

## Réacteur à haute température refroidi au gaz: la Chine progresse dans la préparation de son avenir nucléaire

Dans l'indifférence de l'opinion publique occidentale, la Chine construit actuellement un réacteur à lit de boulets qu'elle a développé elle-même. Le responsable de la conception, Wang Haitao, et une représentante du futur exploitant ont accordé au Forum nucléaire une interview sur l'avancement et l'objectif de ce projet novateur.

**Le réacteur modulaire haute température à lit de boulets chinois HTR-PM (High Temperature Gas-cooled Reactor – Pebble Bed Module), en construction sur le site de Shidao-Bay dans la province de Shandong au bord de la mer Jaune, a le statut de projet de démonstration.**

### Que s'agit-il de démontrer?

**Chen Meicen, porte-parole de la centrale nucléaire de Shidao-Bay:** Le HTR-PM est l'un des principaux projets du programme stratégique et technologique de la Chine relatif aux gros réacteurs avancés à eau sous pression et aux réacteurs à haute température refroidis au gaz. S'agissant du HTR-PM, l'objectif est de développer des solutions aux problèmes techniques qui se posent lors de l'application à l'échelle industrielle, de procéder à des expériences d'ingénierie en vue de la vérification et de préparer la production d'assemblages combustibles hautes performances. À cela s'ajoute la construction – sur la base de connaissances développées en Chine – d'une centrale nucléaire dotée de deux tranches de 100 MW<sub>e</sub> chacune et d'une turbine à vapeur commune. Ces connaissances ont été acquises dans le cadre de la construction et de l'exploitation du réacteur de recherche HTR-10, qui a été mis en service en 2003 à l'université Tsinghua de Pékin.

### Quels sont les principaux défis à relever?

**Chen Meicen:** Le HTR-PM est le premier projet de démonstration au monde portant sur un réacteur modulaire à haute température refroidi au gaz. Il constitue en



Wang Haitao est professeur extraordinaire à l'Institute of Nuclear and New Energy Technology (INNET) de l'université Tsinghua de Pékin, où il dirige le département d'ingénierie des réacteurs à haute température refroidis au gaz. Il est également l'ingénieur responsable du système de procédés de la partie nucléaire du projet de démonstration HTR-PM. Il a mené de nombreuses études sur le comportement des centrales nucléaires en cas de tremblements de terre, sur la conception parasismique et sur les algorithmes correspondants en mécanique numérique.

<sup>1</sup> Guo Wentao est étudiant en master en génie nucléaire à l'ETH Zurich. Il effectue du 1<sup>er</sup> juillet au 30 septembre 2015 un stage au Forum nucléaire.



**Le premier bâtiment réacteur est en voie d'achèvement. Les bannières visent à inciter les ouvriers à respecter et à améliorer les règles de sécurité, à ne pas se chercher d'excuses, et à signaler immédiatement tout problème à leurs supérieurs.**

Photo: Shidao Bay Nuclear Power Plant

outre une première chinoise en matière de conception ingénieriale, d'organisation de chantier, de fabrication des composants, etc. Il n'existe pas d'installation de référence dans ces domaines. Il y a donc forcément des

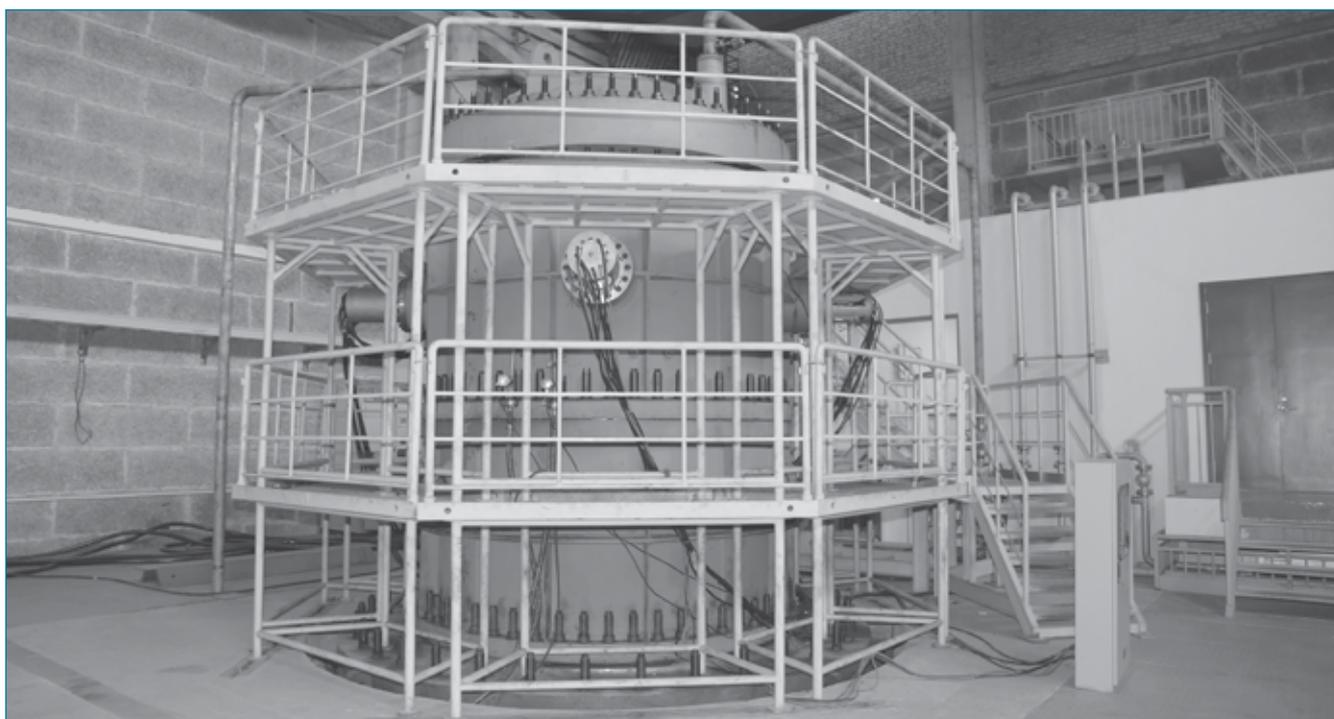
difficultés. Néanmoins, grâce aux efforts conjugués de tous les acteurs concernés, le projet HTR-PM avance bien. Nous avons surmonté bon nombre de problèmes techniques et de construction, et avons coulé en hiver les fondations en béton de la partie nucléaire de la centrale, ce qui constitue également une première en Chine. La partie inférieure de la cuve du réacteur de la première tranche est le plus grand composant forgé à ce jour en Chine. Parmi les autres éléments marquants à relever, mentionnons la suspension électromagnétique du système de pompes développé par la Chine pour faire circuler le réfrigérant (hélium), les centaines d'heures consacrées aux expériences de vérification, de même que la fabrication et le montage – à titre d'essai – des tubes en spirale des générateurs de vapeur.

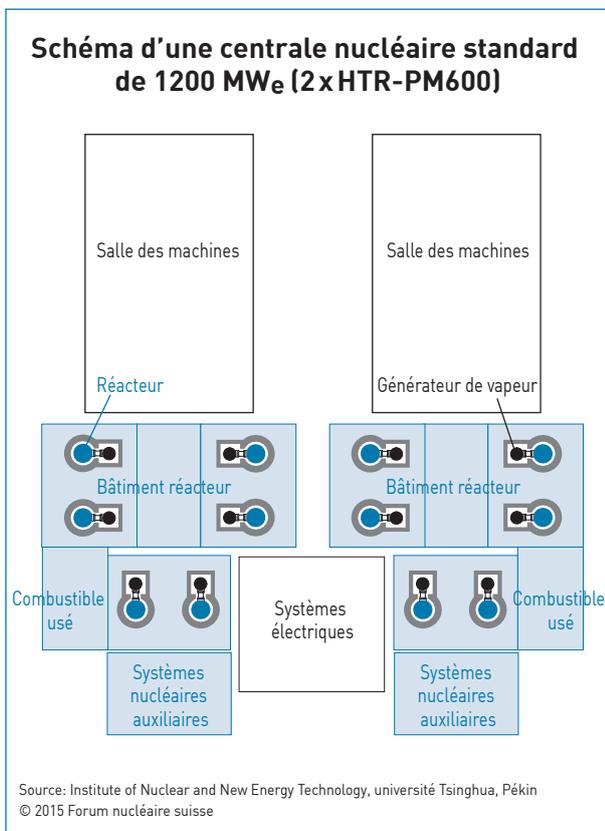
### Où en êtes-vous dans le développement des sphères de combustible?

**Chen Meicen:** Les tests d'irradiation des sphères de combustible du HTR-PM ont eu lieu de septembre 2012 à décembre 2014 au Centre commun de recherche de Petten (Pays-Bas). Pour ce faire, cinq sphères choisies au hasard ont été irradiées dans le réacteur à haut flux de ce centre. Ces tests correspondaient à 351 jours de fonctionnement du réacteur à pleine puissance. La

**L'innovation made in China: tête de la pompe de circulation de l'hélium (réfrigérant).**

Photo: université Tsinghua





**Schéma d'un projet de centrale nucléaire comportant deux HTR-PM600 et offrant une puissance totale de 1200 MW<sub>e</sub>. L'installation se compose d'unités de base constituées de deux réacteurs de 250 MW<sub>th</sub>/100 MW<sub>e</sub> chacun. Chaque groupe de trois unités de base est disposé en forme de T et entraîne une turbine à vapeur de 600 MW<sub>e</sub>. En plus de la production d'électricité, la centrale permet de fournir de la chaleur industrielle ou de la chaleur à distance.**

température moyenne à l'intérieur des éléments combustibles a atteint 1050 °C, et le taux de combustion le plus élevé en une journée a été de 113 GWj/tU, ce qui est plus que le taux de combustion le plus élevé en fonctionnement normal. Le relâchement de gaz de fission est resté stable, s'élevant à seulement 10<sup>-9</sup>% de l'inventaire, ce qui est beaucoup mieux que les prévisions faites lors de la conception.

**Comme son nom l'indique, le HTR-PM est un type de réacteur modulaire. Existe-t-il déjà des projets de construction d'autres modules, sur le site de Shidao-Bay ou ailleurs?**

**Wang Haitao, professeur à l'université Tsinghua:** Il n'existe pour l'heure pas de projet concret. Mais il y a assez de place à Shidao-Bay pour construire dix réacteurs à haute température offrant une puissance totale

de 1000 MW<sub>e</sub> ainsi que de grands projets de démonstration portant sur des réacteurs à eau sous pression de type CAP1400 ou CAP1700, en collaboration dans ce dernier cas avec la State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC). La capacité prévue s'élève à 9000 MW<sub>e</sub>. Par ailleurs, le China Huaneng Group travaille en collaboration avec l'université Tsinghua et la China Nuclear Engineering Group Corporation sur un projet de réacteur à haute température multimodulaire de 600 MW<sub>e</sub>. La procédure de sélection du site, les études de faisabilité et les travaux préparatoires sont déjà en cours.

**Quand le HTR-PM sera-t-il prêt pour l'exploitation commerciale? Combien de temps doit-il rester en exploitation? Existe-t-il des projets visant à faire du HTR-PM le principal type de réacteur utilisé en Chine?**

**Chen Meicen:** La durée totale du projet de démonstration HTR-PM est de 59 mois. Les travaux ont bien avancé depuis le coulage du premier béton, en décembre 2012. Le dernier segment du bâtiment réacteur est aujourd'hui construit. La salle des machines est elle aussi sous toit. Le projet en est maintenant arrivé au stade de l'installation des composants principaux. Le réacteur doit entrer en service commercial en 2018. Il est conçu pour rester en service pendant 40 ans. Ce réacteur est inscrit sur la liste des seize projets spécifiques de grande importance figurant dans le plan scientifique et technologique 2006–2020. Nous n'excluons pas qu'il devienne le type de réacteur le plus utilisé en Chine.

**Cette technologie sera-t-elle vendue à l'étranger?**

**Wang Haitao:** Parallèlement aux travaux préparatoires effectués par le Huaneng Group à Shidao-Bay, plusieurs pays, dont Singapour et l'Arabie saoudite, nous ont fait part de leur intérêt pour l'acquisition de cette technologie une fois que le premier réacteur serait achevé avec succès en Chine. Des pays du Sud-Est asiatique, du Moyen-Orient et même d'Europe sont intéressés par l'utilisation de cette technologie, sans compter les clients potentiels en Chine. Des négociations sont en cours en vue de lancer des coopérations. Grâce à l'expérience acquise avec le HTR-PM600 dans les domaines de la conception, de la fabrication, de la construction, de la production du combustible, de la gestion de projet et de l'homologation, nous pourrions offrir à nos clients des solutions complètes sur mesure pour ce type de réacteur. Une fois que la démonstration du caractère «sûr et efficace» de ce réacteur de génération IV aura été apportée par la réalisation du projet, la Chine pourra passer du statut de pays importateur

à celui de pays exportateur de technologies. Il est très probable que le réacteur à lit de boulets sera exporté dans le cadre de la stratégie nationale d'exportation de technologies haut de gamme.

**Le combustible peut-il être retraité après usage?  
Existe-t-il déjà en Chine des technologies à cet effet  
ou des projets pour les mettre au point?**

**Wang Haitao:** Lorsqu'une sphère de combustible est déchargée par la partie inférieure de la cuve du réacteur pour arriver dans le système de transport du combustible, son taux de combustion est immédiatement mesuré. Si celui-ci n'a pas encore atteint la limite de dimensionnement, la sphère est réintroduite dans le cœur du réacteur, cette fois-ci par la partie supérieure de la cuve. Si la limite de dimensionnement est atteinte, le combustible est considéré comme usé et il est acheminé vers le système de stockage correspondant. Là, les sphères de combustible usé sont placées par groupes de 40'000 dans des conteneurs de stockage. Dès qu'un conteneur est plein, il est scellé et placé dans un puits de stockage ventilé. On peut empiler cinq fûts par puits. La partie nucléaire du HTR-PM600 offre assez de place pour stocker le combustible usé de six modules de réacteurs pendant dix années d'exploitation. Au terme de cette période, les sphères de combustible sont placées dans un grand dépôt intermédiaire situé sur le même site, où elles resteront jusqu'à la fin de la durée d'exploitation de la centrale. Le retraitement est techniquement possible, au moyen de techniques semblables à celles en usage pour les réacteurs à eau sous pression. La Chine est en train de développer cette technologie et elle entend l'utiliser à l'avenir.

**Comment gérez-vous les déchets issus  
de l'exploitation courante?**

**Chen Meicen:** Les déchets radioactifs à l'état gazeux ou liquide qui sont issus de l'exploitation sont collectés et stockés dans des installations de traitement des

déchets pendant un certain temps de décroissance. Ces déchets peuvent ensuite être éliminés normalement après un mesurage de libération. Les déchets de faible et moyenne activité à l'état solide, de même que le combustible usé, sont stockés sur le site de la centrale, comme expliqué précédemment.

**Il a été démontré que le HTR-PM peut surmonter  
un accident de perte de réfrigérant primaire (APRP  
ou, en anglais, LOCA, Loss of Coolant Accident).  
Reste-t-il des questions de sûreté à clarifier?**

**Wang Haitao:** Il est exact que l'augmentation de la température du combustible découlant d'accidents de réactivité ou de perte du réfrigérant primaire ne provoque pas de relâchement supplémentaire significatif de substances radioactives contenues dans les sphères de combustible. Le HTR-PM se distingue en outre par les caractéristiques de sûreté suivantes: tout d'abord, l'inventaire radioactif du circuit de refroidissement primaire à l'hélium est extrêmement minime dans les conditions de fonctionnement normales. Même si cette faible quantité de radioactivité était relâchée dans l'environnement en raison d'un accident, aucune mesure d'urgence ne serait nécessaire dans les environs. Deuxièmement, les conséquences d'incidents liés à la pénétration d'eau ou d'air dans le circuit primaire dépendent du volume entrant. Le processus de pénétration et les réactions chimiques qui y sont liées se déroulent lentement et peuvent être arrêtés par des mesures très simples, à prendre dans les heures voire dans les quelques jours qui suivent. En outre, le HTR-PM supporte également sans dommage des incidents comme la perte de l'alimentation électrique externe, la perte de la soufflante d'hélium principale ou la perte de la source froide primaire. (Traduction M.Re./D.B.)

## Réacteurs au thorium: possibilités et obstacles

Toutes les tranches nucléaires actuellement en exploitation reposent sur l'uranium 235 (U-235), qui est fissile. Mais il existe deux autres isotopes pouvant être fissionnés par des neutrons thermiques: l'uranium 233 (U-233) et le plutonium 239 (Pu-239). Si ce dernier est utilisé commercialement dans le combustible mox, la production d'électricité au moyen d'U-233, qui peut être généré à partir de thorium, ne s'est pas encore imposée sur le marché. Toute une série de concepts sont néanmoins en développement.

Ni l'U-233 ni le Pu-239 n'existent dans la nature. Le Pu-239 se forme par irradiation neutronique d'U-238. Quant à l'U-233, il se forme de façon similaire à partir de thorium 232 (Th-232), par la chaîne de réactions  $\text{Th-232} + n \rightarrow \text{Th-233} + \beta^- \rightarrow \text{Pa-233} + \beta^- \rightarrow \text{U-233}$  (Pa: Protactinium). Vers 1960, Alvin Weinberg a exploité pendant quelques années un réacteur conçu sur cette base à l'Oak Ridge National Laboratory, États-Unis. Ensuite, le «réacteur au thorium» est pratiquement tombé dans l'oubli. Dans sa dernière publication<sup>1</sup>, Edward Teller a néanmoins fait référence avec Ralph W. Moir à ce type de réacteur.

### Des stratégies pour l'exploitation du thorium en Inde ...

C'est avant tout aux États-Unis et en Occident au sens large du terme que l'on a oublié le thorium. En Inde, le thorium n'est jamais sorti des esprits. L'Inde dispose d'importants gisements de thorium, alors que les réserves mondiales d'uranium semblaient très limitées

<sup>1</sup> Moir R. W. and Teller E., «Thorium-Fueled Underground Power Plant Based on Molten Salt Technology», in: Nuclear Technology, Volume 151/Number 3, pages 334–340, September 2005

#### À propos de l'auteur

Simon Aegerter est docteur en physique. De 1969 à 1980, il a dirigé la division Sciences exactes et sciences naturelles du Fonds national suisse. Il a ensuite été directeur du Technorama de Suisse jusqu'en 1986, après quoi il a monté sa propre entreprise, œuvrant en dernier lieu dans le secteur des logiciels Internet avec son fils. En 2001, il a créé la cogito foundation et, depuis 2013, il tient le blog [kaltduschenmitdoris.ch](http://kaltduschenmitdoris.ch) [prendre une douche froide avec Doris].

au début des années 1960. L'ancien président de l'autorité indienne responsable du nucléaire, Homi Bhabha, a eu le mérite de reconnaître dès cette époque le potentiel du thorium, mais aussi les problèmes s'opposant à son utilisation. Il a alors conçu un plan en trois étapes qui devait permettre à l'Inde d'atteindre l'autarcie énergétique en quelques décennies grâce au thorium.

Ce plan reposait sur l'idée que, le thorium n'étant pas un combustible nucléaire, il faut l'«amorcer» au moyen d'une matière fissile. Bhabha a opté pour le plutonium. Il en a déduit que le pays devrait passer par les trois étapes suivantes:

1. Développement ou acquisition de réacteurs nucléaires basés sur le cycle uranium-plutonium. Recyclage des crayons combustibles usés et séparation du plutonium s'étant formé.
2. Utilisation du plutonium ainsi obtenu pour démarrer des réacteurs à neutrons rapides à base d'uranium et ainsi intensifier la production de plutonium.
3. Dès que la quantité de plutonium disponible sera suffisante, construction de réacteurs au thorium dont la partie intérieure du cœur, composée de plutonium, sera entourée d'une couverture de thorium permettant de générer de l'U-233. Remplacement progressif des crayons de Pu usés par des crayons d'U-233.

La phase 1, qui dure depuis des années, repose avant tout sur des réacteurs à eau lourde et de l'uranium naturel. 18 réacteurs de ce type sont actuellement en exploitation en Inde, produisant à la fois de l'électricité et du plutonium. La phase 2, à savoir le développement et la construction de réacteurs à neutrons rapides, a pris énormément de retard. Le premier réacteur de ce type devrait néanmoins entrer en service cette année sur le site de Kalpakkam, dans l'État du Tamil Nadu. La troisième étape est en préparation. Des essais menés avec des crayons de thorium exposés à un flux neutro-

nique devraient fournir les données et l'expérience nécessaires à la construction du premier surgénérateur au thorium. L'U-233 obtenu lors de ces essais suffit déjà à l'exploitation d'un petit réacteur de recherche. Il s'agit pour l'heure du seul réacteur au monde alimenté à l'U-233.

### ... et en Chine

La Chine suit une tout autre stratégie. Le développement économique fulgurant qu'elle a connu au cours des dernières décennies a généré d'énormes besoins en électricité, qui jusqu'à présent ont été en majeure partie couverts par le charbon ainsi que par un peu de force hydraulique. Les plus hautes autorités du pays ne sont pas sans savoir que cet approvisionnement pose d'énormes problèmes environnementaux et sanitaires. Elles ont donc décidé de miser à fond sur le développement du nucléaire. À l'heure actuelle, le pays construit avant tout des réacteurs de génération 3+, c'est-à-dire des réacteurs à eau légère, tout en testant tous les types de réacteurs imaginables, dont ceux au thorium. Ce volet de la recherche chinoise en matière de réacteurs a une genèse intéressante.

La publication de Moir et Teller mentionnée plus haut était de nature scientifique. Moir a ensuite rédigé, en collaboration avec Robert Hargraves, une version destinée à la vulgarisation. Les deux scientifiques ont décrit le réacteur expérimental à sels fondus exploité avec succès par Alvin Weinberg dans les années 1960 à l'Oak Ridge National Laboratory, et esquissé un développement possible de ce prototype.

Publié dans une revue très connue, l'«American Scientist»<sup>2</sup>, leur texte retint l'attention du vice-président de l'académie chinoise des sciences, Jiang Mian Heng. En tant que haut fonctionnaire scientifique (et fils de l'ancien président du pays Jiang Ze Min), celui-ci avait assez d'influence pour lancer immédiatement un projet de recherche sur le sujet. Il réussit à se faire inviter à Oak Ridge par le département américain de l'énergie (DOE) afin de se procurer toutes les informations disponibles sur le réacteur de Weinberg. Aujourd'hui, 450 personnes travaillent au développement d'un réacteur à sels fondus au thorium à l'Institute of Applied Physics de Shanghai.



**Premières expériences: Alvin Weinberg, pionnier du nucléaire, note l'excellent résultat obtenu par le réacteur à sels fondus d'Oak Ridge en 1967.**

Photo: Oak Ridge National Laboratory

La recherche porte avant tout sur la corrosion. Il est évident que les sels de fluorure sont très agressifs à haute température et que seuls des alliages extrêmement robustes pourront résister à la corrosion pendant des années. Il est prévu, lors d'une étape intermédiaire, d'effectuer des tests avec des sphères de graphite contenant le combustible, qui seraient refroidies avec un mélange de fluorures.

S'agissant du réacteur à haute température refroidi au gaz, le développement est assez avancé. Un réacteur expérimental de ce type est en service depuis dix ans à l'université Tsing Hua de Pékin, et un prototype est en construction près de Wei Hai, dans la province de Shandong. Il sera doté de deux réacteurs et devrait entrer en service en juillet 2017. Il s'agit d'un réacteur à lit de boulets de type Schulten dont le combustible peut également contenir du thorium. Dans l'état actuel de nos connaissances, l'Inde et la Chine sont les deux seuls pays à s'être dotés d'un programme de développement étatique portant sur les réacteurs au thorium.

### Projets de développement

L'abstention des autres pays a conduit à un phénomène intéressant, jusqu'alors inconnu dans le domaine du nucléaire: des startups se sont lancées dans le développement de toute une série de concepts. En voici quelques exemples:

**Martingale:** Mené par les frères Jack et Dave Devanney, ce groupe propose un réacteur à sels fondus faisant exclusivement appel à des techniques et processus connus et éprouvés. Ce concept a été baptisé «ThorCon». Au lieu de développer des matériaux capables de résis-

<sup>2</sup> Hargraves R. and Moir R. W., «Liquid Fluoride Thorium Reactors – An old idea in nuclear power gets reexamined», in: American Scientist, Volume 98/Number 4, pages 304–313, July/August 2010

### Pourquoi le thorium?

Le cycle thorium-uranium présente plusieurs avantages par rapport au cycle uranium-plutonium. Tout d'abord, le thorium est plus répandu sur Terre que l'uranium. Cet atout n'a toutefois qu'une pertinence limitée: certes, il y en a quatre fois plus dans la croûte terrestre, mais les réserves prouvées et supposées des mines exploitables ne sont pas beaucoup plus grandes.

Son principal avantage est lié aux matières résiduelles: l'U-238 forme le Pu-239 par capture d'un seul neutron, et il donne ensuite naissance à toute une série d'autres transuraniens ayant des demi-vies de l'ordre de quelques milliers d'années (Pu-239: 24'111 ans). Ces transuraniens rendent le stockage définitif coûteux et font très peur aux gens. Il en va tout autrement du thorium: pour former du Pu-239 à partir de Th-232, il faut sept captures neutroniques successives, une suite d'événements hautement improbable. De ce fait, le thorium ne génère pratiquement pas de déchets en dehors des inévitables produits de fission.

S'agissant de la prolifération (diffusion de matières pouvant servir à fabriquer des armes), les avis sont partagés. Certains estiment que le réacteur au thorium est particulièrement résistant à la prolifération, car l'irradiation neutronique d'U-233 dans le cadre d'un processus (n,2n) produit des traces d'U-232, lequel se désintègre entre autres (la chaîne de désintégration est longue) en thallium-208, un puissant émetteur gamma dont la radioactivité empêche toute manipulation simple du sel fondu en vue de produire de l'U-233. D'un autre côté, il est en théorie possible de séparer chimiquement le Pa-233 produit par capture neutronique et de le faire se désintégrer en U-233 pur, une matière idéale pour la fabrication de bombes.

ter pendant 40 ans à des températures élevées et à des irradiations extrêmes, on remplace tous les quatre ans les modules de réacteur complets. Les Devaney ont de l'expérience dans la construction de navires et ils veulent construire des réacteurs de la même façon: rapidement, simplement, et à faible coût. Les transports se font impérativement par voie navigable, si bien que le concept n'est pas applicable à la Suisse.



**Matière première pour la production d'énergie: le thorium est présent sur Terre sous la forme de différentes liaisons chimiques. Il est encore plus répandu que l'uranium. On voit ici de la thorianite, un minéral composé d'oxyde de thorium (ThO<sub>2</sub>).**  
Photo: Thomas Schüpbach / NMBE

**Terrestrial Energy:** Le Canadien David Le Blanc a développé un réacteur à sels fondus qui est conçu de façon aussi simple que possible. Son Integral Molten Salt Reactor (IMSR) contient un seul mélange de sels, sans couverture fertile. Contrairement au Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR), dans lequel les produits de fission sont séparés en continu du sel liquide, ces produits restent dans le mélange de sels pendant toute la durée de vie du réacteur, d'où un risque potentiel lié à la chaleur résiduelle, qui est élevée.

**Institute for Solid-State Nuclear Physics:** Sis à Berlin, cet institut financé par des fonds privés a suscité l'attention avec son Dual Fluid Reactor. Il a remporté – de manière tout à fait «politiquement incorrecte» – la première place d'un concours consacré aux technologies vertes, avant d'être exclu de la compétition par les organisateurs. Les spécialistes estiment toutefois que le concept a peu de chances de s'imposer et l'on ignore si un financement a pu être trouvé pour un développement expérimental.

**Steenkampskraal Thorium Ltd. (STL):** L'Afrique du Sud a tenté de développer le réacteur à lit de boulets allemand (réacteur Schulten), qui est similaire au réacteur modulaire à haute température (HTMR) développé en Chine, jusqu'au stade de la maturité industrielle. L'essai a dû être arrêté en 2010 pour des raisons financières. Un particulier, Trevor Blench, poursuit le projet sous une forme modifiée. Sa société, la STL, détient les droits liés aux grands gisements de thorium et de terres rares d'Afrique du Sud. →

Le projet **Samofar** (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor) occupe une place particulière. Il s'agit d'une collaboration formée de onze groupes de recherche (dont l'Institut Paul Scherrer) et des entreprises européennes. Un financement de base est fourni par l'UE. Les travaux sont coordonnés par l'université de Delft (Pays-Bas). L'objectif du projet Samofar est de vérifier les aspects sécuritaires particuliers aux réacteurs à sels fondus et de démontrer leur adéquation. Il s'agit notamment de:

- vérifier le fonctionnement du bouchon de sécurité thermosensible qui permet au sel combustible de passer dans une configuration sous-critique;
- mesurer les données relatives aux sels qui sont pertinentes pour la sûreté;
- étudier de nouveaux revêtements tels que les alliages en nickel pour les matériaux structurels;
- modéliser la dynamique de la circulation naturelle des sels liquides lorsqu'ils chauffent;
- vérifier les procédés chimiques visant à extraire les lanthanides et les actinides du sel combustible.

Les travaux ont commencé en août 2015.

Il convient encore de mentionner **l'institut de recherche de Rez** près de Prague, où des travaux de recherche sont menés avec du  ${}^7\text{LiF}$ .

Il ne s'agit là que d'une sélection de projets portant sur le thorium utilisé comme base pour la conception de réacteurs nucléaires d'un type nouveau. Tous ces projets ont un point commun: la difficulté de trouver un financement. C'est compréhensible. Les investisseurs de capital-risque ont pour habitude de procéder par étapes clairement définies. Or, dans le cas du développement d'un réacteur, les coûts peuvent vite devenir élevés et difficiles à calculer. Il est tout à fait possible de réaliser les premières études de faisabilité pour quelques millions, mais les expériences portant sur des composants individuels peuvent vite se chiffrer en dizaines de millions. Et les coûts prennent vraiment l'ascenseur lorsqu'on se met à construire des prototypes. Ils peuvent même s'avérer impossibles à évaluer en raison des inconnues liées à l'homologation par les autorités (caractère imprévisible de la procédure, du calendrier et des exigences).

### Gros plan sur le bilan neutronique

Les réacteurs fonctionnant à 100% au thorium peuvent être utilisés comme convertisseurs ou comme surgénérateurs. Ce ne sont toutefois pas des surgénérateurs très efficaces, et ce pour plusieurs raisons. L'une d'entre elles est leur faible production de neutrons. La

### Le Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR)

Le LFTR (prononcer «lifter») est un réacteur à sels fondus comportant deux parties, le cœur et la couverture. Le combustible U-233 est dissout sous forme de tétrafluorure d'uranium ( $\text{UF}_4$ ) dans un mélange de fluorure de lithium (LiF) et de fluorure de béryllium ( $\text{BeF}_2$ ) appelé «FLiBe». La criticité est atteinte par augmentation de la concentration d' $\text{UF}_4$ . Le coefficient de température est si fortement négatif qu'un pilotage du réacteur n'est en soi pas nécessaire. Le sel liquide fait tout à la fois office de combustible, de modérateur et de réfrigérant. Il transmet de la chaleur à haute température (700 °C) à un circuit de sels secondaire, qui la transmet ensuite au générateur de vapeur. Le circuit primaire subit une étape chimique lors de laquelle les produits de fission nouvellement formés, séparés en gaz, fluorures et métaux nobles, sont extraits du sel en continu.

Dans la couverture, on a du tétrafluorure de thorium ( $\text{ThF}_4$ ) dissout dans le sel, au lieu d' $\text{UF}_4$ . Les neutrons en provenance du cœur convertissent le thorium en Pa-233 (demi-vie de 27 jours), lequel se désintègre en U-233, qui reste dissout dans le sel sous forme d' $\text{UF}_4$ . Pour en faire du combustible utilisable dans le cœur, le sel de la couverture subit lui aussi une étape chimique lors de laquelle du gaz fluoré y est introduit. L' $\text{UF}_4$  se transforme alors en hexafluorure d'uranium ( $\text{UF}_6$ ), composé gazeux qui s'échappe. L' $\text{UF}_6$  est ensuite retransformé en  $\text{UF}_4$  au moyen d'hydrogène et introduit dans le cœur pour servir de combustible.

Jusqu'ici, tout paraît parfaitement fonctionnel, mais il y a tout de même quelques problèmes:

- le fait que le Pa-233 a une demi-vie de près d'un mois et que sa section efficace de capture neutronique est relativement importante entraîne une dégradation du bilan neutronique. Une possibilité de régler ce problème est d'augmenter l'épaisseur de la couverture jusqu'à ce que le protactinium soit suffisamment dilué;
- de l'U-232 peut se former lors d'une réaction ( $n,2n$ ). Il se désintègre ensuite en cascade, donnant notamment naissance à du thallium-208, isotope qui se désintègre en émettant un rayonnement gamma très énergétique;
- le lithium existe sous la forme de deux isotopes: le Li-6 et le Li-7. Le Li-6, un absorbeur de neutrons, doit être éliminé du sel de fluorure. Le Li-7 pur est pour l'heure rare et cher.

fission d'U-233 produit à peine 2,5 neutrons en moyenne, contre 2,88 pour le Pu-239. À cela s'ajoute le fait que le Pa-233 absorbe des neutrons, comme mentionné plus haut. D'où un taux de surgénération à peine supérieur à 1, ce qui veut dire que le réacteur ne produit pas beaucoup plus d'U-233 que ce dont il a besoin pour fonctionner. Il faudra donc toujours de la matière fissile provenant d'une autre source – par exemple du plutonium issu de réacteurs à eau légère ou à neutrons rapides – pour amorcer un réacteur au thorium. Le parc nucléaire idéal de demain devrait donc comprendre des réacteurs à eau légère, des surgénérateurs et des convertisseurs de thorium. Il est en outre possible

d'ajouter du thorium dans le combustible à l'uranium, car le thorium peut être converti efficacement en combustible par les neutrons thermiques. (Simon Aegerter/D.B.)

*Un grand merci à Jiri Krepel (PSI) et à Andreas Norlin (TheC) pour les discussions riches en enseignements qu'ils ont bien voulu mener avec moi.*

Pour en savoir plus:

Robert Hargraves: «Thorium – energy cheaper than Coal», 2012.

### **Production d'isotopes pour la médecine?**

Près de 80% des procédés de radiodiagnostic utilisés en médecine font appel à l'isotope technétium-99m (Tc-99m), qui est généré par la désintégration du molybdène-99 (Mo-99). Ce dernier est un produit de fission, il se forme donc dans tous les réacteurs nucléaires en exploitation.

La quasi-totalité du Mo-99 (que l'on appelle affectueusement «Moly») provient de réacteurs de recherche, qui le fournissent à titre plus ou moins accessoire. Il n'est pas facile d'extraire en temps et en heure le «Moly» des assemblages combustibles usés. Sa demi-vie n'est que de deux jours et 18 heures. Nombre des réacteurs de recherche qui produisent du «Moly» sont vieux de plusieurs décennies et arriveront bientôt à la fin de leur durée de vie, si bien qu'une pénurie mondiale menace.

Le réacteur à sels fondus pourrait-il combler ce vide? C'est tout à fait imaginable, grâce à un «truc» fantastique: une partie des produits de fission – à savoir l'iode, le xénon et le krypton – sont à l'état gazeux: dans les combustibles solides, ces éléments sont très gênants, car ils abîment de l'intérieur les pastilles d'oxyde d'uranium par effet mécanique. Il est en revanche facile de les extraire des sels liquides par rinçage à l'hélium. On a constaté avec surprise que les bulles de gaz ainsi produites contenaient du molybdène et quelques autres métaux sous forme d'aérosols! Un petit réacteur à sels fondus pourrait donc produire du «Moly» à des conditions commercialement intéressantes pour autant que la rareté du molybdène en fasse augmenter le prix.

## Aux confins de notre système solaire et au-delà grâce à l'énergie nucléaire

La sonde spatiale New Horizons a récemment fait les grands titres en photographiant de très près la planète naine Pluton. La technologie nucléaire joue un rôle essentiel dans cette mission. Depuis plus d'un demi-siècle, les piles atomiques fournissent énergie et chaleur aux satellites et sondes spatiales.

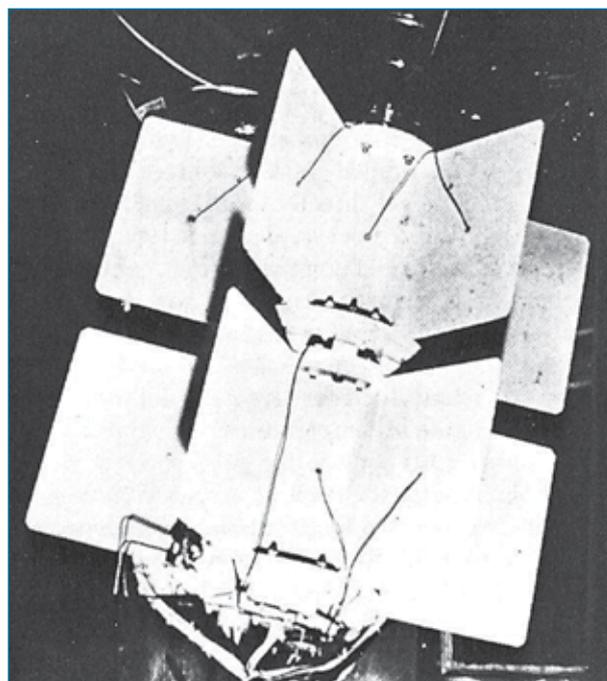
À la mi-juillet 2015, la sonde spatiale New Horizons a atteint Pluton et envoyé à la Terre les premières photographies rapprochées de cette planète naine ainsi que d'autres données s'y rapportant. Cette performance remarquable n'aurait pas été possible sans le soutien du département américain de l'Énergie (DOE), ainsi que l'a relevé ce dernier dans un communiqué. La sonde avait en effet à son bord un générateur thermoélectrique à radioisotopes (Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG) pour alimenter en électricité ses instruments et ses appareils de transmission. Les pastilles de combustible de ce RTG ont été développées et testées par des scientifiques du DOE. Quant aux piles atomiques, elles ont été fabriquées aux laboratoires nationaux de Los Alamos, Oak Ridge et Idaho, qui appartiennent tous au DOE. Et le plutonium contenu dans les pastilles de combustible provient également d'une installation du DOE, celle de Savannah River.

Les RTG utilisent la chaleur dégagée par la désintégration de plutonium-238, la transformant directement en courant au moyen de couples thermoélectriques. Dans le cas de la sonde New Horizons, la puissance électrique de départ était légèrement supérieure à 200 watts. Elle diminuera toutefois au fil du temps en raison de la décroissance radioactive – le Pu-238 a une demi-vie de 87,7 ans – et du vieillissement des couples thermoélectriques. Le Pu-238 est utilisé sous forme de céramique, un matériau résistant à la chaleur et difficilement soluble dans l'eau. En cas d'impact violent, la céramique se brise avant tout en des fragments relativement gros, ce qui réduit considérablement le risque que des substances radioactives disséminées sous forme de poudre puissent être inhalées. Les pastilles de plutonium sont en outre recouvertes de plusieurs couches de matières résistant à la corrosion et à la chaleur. Le Pu-238, qui ne peut pas servir à la fabrication d'armes, est un émetteur alpha pratiquement pur qui se désintègre en un élément presque stable, l'uranium-234, si bien qu'il ne requiert qu'un blindage simple.

### L'histoire du nucléaire dans la conquête spatiale

Les RTG sont avec les panneaux solaires la seule technologie utilisée actuellement pour assurer l'alimentation en énergie des missions spatiales de plusieurs années. Les piles chimiques et les piles à combustible ne tiendraient pas assez longtemps. De plus, dans les zones reculées du système solaire, le rayonnement du Soleil est trop faible pour fournir une puissance suffisante à des panneaux solaires. Par conséquent, bon nombre des missions qui ont atteint leurs objectifs faisaient appel à des systèmes à radioisotopes.

L'année 1961 ne fut pas seulement celle des premiers vols spatiaux habités. En plus de Youri Gagarine et d'Alan Shepard, on envoya également la première

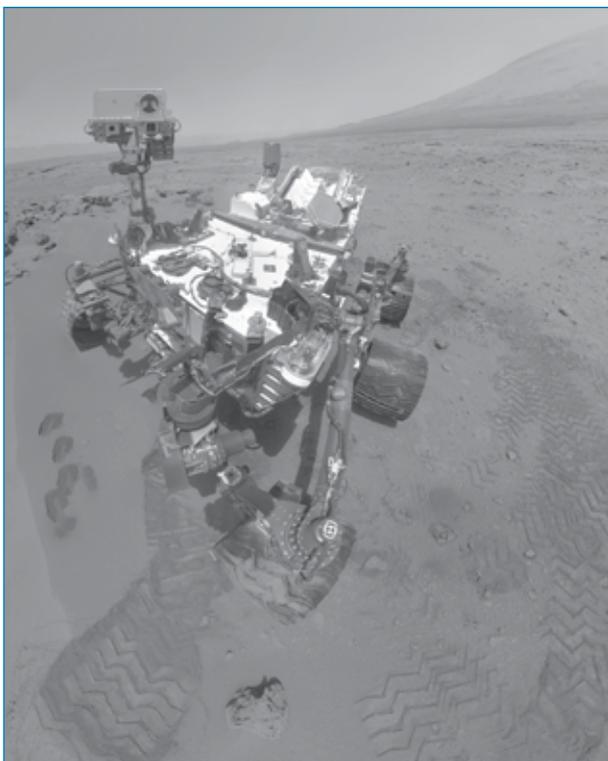


Piles atomiques du satellite météo Nimbus III.

Photo: Nasa

propulsion nucléaire dans l'espace: le 29 juin 1961, la marine américaine lança le satellite de navigation Transit 4A qui avait à son bord un RTG de type SNAP-3 d'une puissance électrique de 2,5 W. Ce RTG avait été fabriqué par une société privée. Par la suite, tous les systèmes nucléaires d'alimentation en énergie utilisés sur les missions de la Nasa proviendront du DOE.

En avril 1969, la Nasa réussit avec Nimbus III sa première mission reposant sur une alimentation nucléaire. Ce satellite météorologique effectua pour la première fois des mesures de la pression atmosphérique, du rayonnement UV du soleil, de la quantité de glace présente à la surface des océans et de la couche d'ozone. Deux mois après le lancement de Nimbus III, les premières piles atomiques arrivèrent sur la Lune. Il s'agissait des éléments chauffants à radioisotopes (radioisotope heater unit, RHU) embarqués sur Apollo 11, la première mission d'alunissage habitée. Ces RHU, qui fonctionnaient selon le même principe que les RTG, étaient utilisés exclusivement pour la production de chaleur. Les instruments des véhicules spatiaux étant pour la plupart extrêmement délicats, il est en effet indispensable de les maintenir à leur température de fonctionnement en dépit du froid extrême qui règne



**Rover Curiosity: le RTG se trouve dans le cylindre blanc fixé à l'arrière du véhicule.**

Photo: Nasa

dans l'espace. Par la suite, les différents composants de l'Apollo Lunar Surface Experiment Package (ALSEP), qui furent transportés sur le sol lunaire par les missions Apollo 12 à 17 entre novembre 1969 et décembre 1972, étaient tous alimentés en énergie par des RTG.

### De véritables pionnières

La sonde Pioneer 10 a été lancée en mars 1972. Équipée de quatre RTG et de douze RHU, c'est le premier véhicule spatial à avoir survolé Mars. Elle a également fourni des photos de Jupiter, dont elle a traversé la ceinture d'astéroïdes, et elle a été le premier objet fabriqué par l'homme à quitter notre système solaire. Son alimentation en énergie était conçue pour durer cinq ans. Au final, elle fonctionnera au moins 30 ans, jusqu'à ce que la communication avec la sonde se coupe. Dotée du même système de fourniture de chaleur et d'électricité, la sonde Pioneer 11 fut lancée en avril 1973. Elle allait fournir de nouvelles connaissances sur Jupiter, prendre des photos rapprochées de Saturne et de ses anneaux, et découvrir deux nouvelles lunes de la deuxième plus grande planète du système solaire. La communication avec Pioneer 11 s'est arrêtée au bout de 22 ans, alors que les RTG fournissaient encore de l'énergie. Pioneer 11 continue elle aussi sa route vers l'extérieur du système solaire. Comme sa grande sœur Pioneer 10, elle est munie d'une plaque portant un message dans l'éventualité où elle serait découverte par des formes de vie extraterrestres.

La technologie nucléaire était également présente lors du premier atterrissage sur Mars. Les sondes Viking 1 et 2 se sont posées en juillet et septembre 1976 sur différents sites de la planète rouge. Les instruments de chacune de ces deux sondes étaient alimentés en électricité par deux RTG. Grâce à Viking 1, la Nasa a pu se targuer d'avoir réalisé la première mission réussie sur Mars. En 1971, une sonde russe était certes restée intacte pendant quelques secondes après son atterrissage sur Mars, mais elle n'avait pas transmis de données. Viking 1 a exploré la surface de la planète rouge pendant six ans, jusqu'à sa mise à l'arrêt programmée. Viking 2 a envoyé des données à la Terre pendant quatre ans, jusqu'à ce que le contact avec son orbiteur, et donc avec la station-relais, soit coupé. Le programme Viking a notamment fourni la preuve qu'il existe des lits de rivières asséchées sur Mars.

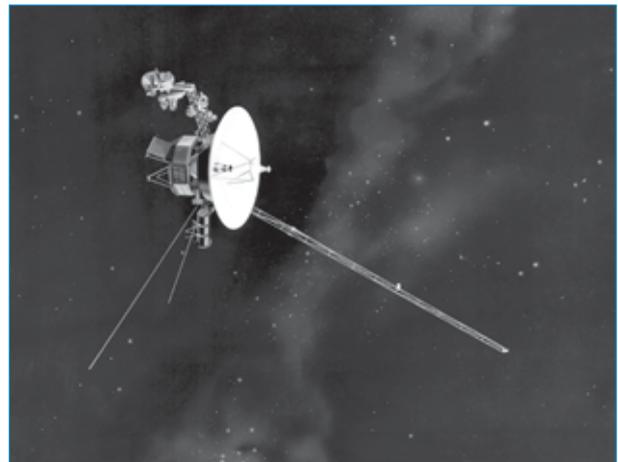
Les piles atomiques ont fourni – et fournissent encore – de l'énergie pour d'autres missions sur Mars. Sojourner, le premier robot mobile à avoir atterri sur Mars, a commencé son périple en décembre 1996 muni de trois RHU. Il devait au départ fonctionner pendant sept jours, mais est finalement resté opérationnel durant près de

trois mois. Il a été suivi par Spirit et Opportunity, tous deux chauffés par huit RHU, qui ont été lancés en été 2003 pour atterrir sur Mars en janvier 2004. Si Spirit s'est enlisé dans du sable au bout de six ans d'exploration, Opportunity, toujours opérationnel, continue de transmettre des données. En août 2012, il a reçu la compagnie de Curiosity, le plus grand et le dernier rover construit à ce jour. Curiosity est équipé d'un générateur thermoélectrique à radioisotopes multissions (Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator, MMRTG) qui, en début de mission, délivrait une puissance électrique de 120 W et une puissance thermique de 2000 W. Les ingénieurs estiment la durée de vie utile du MMRTG à 14 ans au moins.

### En route pour de nouvelles dimensions

Le programme Voyager est considéré comme la plus grande réussite de la Nasa et de l'exploration spatiale en général. Les deux sondes Voyager ont quitté la Terre en août et en septembre 1977. C'est la sonde Voyager 2 qui a été lancée en premier, mais elle a par la suite été dépassée par Voyager 1. L'approvisionnement en énergie de chacun de ces véhicules spatiaux est assuré par trois Multi-Hundred-Watt (MHW) RTG, qui délivraient chacun une puissance électrique de 158 W en début de mission. Les sondes ont en outre chacune à leur bord neuf RHU pour la production de chaleur. Près de 40 ans après leur lancement, elles disposent encore d'une puissance électrique de quelque 300 W chacune. Au fur et à mesure que la puissance diminue, les opérateurs arrêtent des appareils afin d'adapter la consommation à la capacité d'alimentation restante.

Après avoir exploré Jupiter et Saturne, Voyager 1 a poursuivi son voyage vers les confins du système solaire. Vers le mois d'août 2012, la sonde est entrée dans l'espace interstellaire. C'était le premier véhicule spatial lancé depuis la Terre à y pénétrer. Elle se trouve aujourd'hui à 20 milliards de kilomètres du Soleil, ce qui en fait l'objet fabriqué de main humaine le plus éloigné de cet astre, et elle fournit encore et toujours des données. Voyager 2 suit les traces de sa grande sœur à quelque 4 milliards de kilomètres de distance. C'est le premier – et à ce jour le seul – véhicule spatial à avoir survolé de près les quatre grandes planètes du système solaire, à savoir Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. La sonde Voyager 2 est elle aussi en route vers les confins du système solaire et elle continue également d'envoyer des données à la Terre. Parmi les innombrables découvertes des deux sondes figurent les anneaux de Jupiter, les volcans de Io (l'une des lunes de Jupiter), les nouvelles lunes d'Uranus et de Neptune, et les geysers d'azote liquide de Triton (la plus grosse lune de Neptune). À l'instar des sondes Pioneer,



Représentation artistique de la sonde Voyager.

Photo: Nasa

Voyager 1 et 2 sont chacune munies d'un disque contenant des informations visuelles et audio dans l'éventualité d'une rencontre avec une vie extraterrestre.

### Sondes Galileo, Ulysses et Cassini

Avec la sonde Galileo lancée en 1989, la Nasa a réussi pour la première fois à faire le tour de Jupiter. Grâce à deux GPHS-RTG (General Purpose Heat Source – Radioisotope Thermoelectric Generator) et à 120 RHU, Galileo a fourni durant huit ans des données et des images de Jupiter et de ses lunes. La sonde Ulysses était elle aussi alimentée en électricité par un GPHS-RTG. Lancée en 1990, elle est d'abord partie en direction de Jupiter, avant de boucler trois orbites autour du Soleil en survolant ses pôles, puis d'être arrêtée après 21 ans de fonctionnement. Quant à la sonde Cassini, qui a été lancée en 1997, elle a effectué sa première rotation autour de Saturne et continue d'étudier cette planète, ses anneaux et ses lunes. Elle est alimentée en électricité par trois GPHS-RTG et en chaleur par 117 RHU.

La mission New Horizons mentionnée en introduction fait elle aussi appel à un GPHS-RTG. En effectuant un survol rapproché de Pluton, la sonde a atteint son objectif principal, découvrant en outre quatre lunes encore inconnues. New Horizons est maintenant en route pour la ceinture de Kuiper, dont fait partie Pluton. Il s'agit d'une zone du système solaire en forme d'anneau, qui comporte plus de 70'000 objets célestes de plus de 100 km de diamètre ainsi que de nombreux objets plus petits. Sur Terre, les scientifiques de la Nasa, du DOE et d'autres organisations s'emploient à poursuivre le développement des piles atomiques pour véhicules spatiaux. (M. Re. / D.B. d'après divers communiqués du DOE et de la Nasa)

## L'évolution des réacteurs russes à eau sous pression

Début août 2015, 56 réacteurs à eau sous pression du type russe VVER (réacteur de puissance refroidi et modéré à l'eau) étaient en exploitation dans le monde, ce qui représente un huitième des tranches nucléaires en service à l'échelle de la planète. Depuis que la première unité VVER a été couplée au réseau – c'était au milieu des années 1960 – la filière a été constamment développée: des réacteurs plus puissants ont été mis sur le marché et le niveau de sûreté a augmenté de façon significative. La mise en service de la version la plus récente, le VVER-1200 (AES-2006), est prévue pour 2016 sur le site russe de Novovoronej. Et de nouvelles versions sont d'ores et déjà en préparation.

La première tranche VVER est entrée en production en septembre 1964 sur le site de Novovoronej, à 500 km au sud de Moscou. Sa puissance électrique brute s'élevait à 210 MW. Le deuxième VVER a été mis en service en 1966 sur le site de Rheinsberg, dans l'ancienne RDA. Novovoronej 2, une tranche VVER un peu plus puissante (365 MW), s'y est ajoutée en 1969. Ces tranches VVER dites de première génération recevaient des désignations correspondant à leur puissance brute. Ainsi, Novovoronej 1 et Rheinsberg étaient du type V-210, et Novovoronej 2 du type V-365.

### La série VVER-440

La construction et l'exploitation de ces installations de première génération ont servi de base aux ingénieurs pour le développement de réacteurs plus puissants. Le VVER-440, qui les suivit directement, fut le premier réacteur russe à eau sous pression conçu pour la production en série. Rien de moins que 35 tranches de ce type furent mises en service entre 1972 et 2000, non seulement dans des pays d'Europe centrale, mais aussi en Arménie, en Finlande, en Russie et en Ukraine. 23 d'entre elles produisent encore de l'électricité

**Représentation artistique des deux tranches AES-2006 de la centrale nucléaire Leningrad-II, qui seront mises en service avant 2020.**

Photo: Rosatom



## Aperçu des réacteurs du type VVER

Gén. I VVER	Gén. II VVER-440	Gén. II / gén. III VVER-1000	Gén. III+ VVER-1200
<b>V-210</b> <b>Russie:</b> Novovoronej 1 (à l'arrêt)	<b>V-179</b> <b>Russie:</b> Novovoronej 3 et 4	<b>V-187</b> <b>Russie:</b> Novovoronej 5	<b>V-392M</b> <b>Russie:</b> Novovoronej-II 1 et 2 (en construction)
<b>V-365</b> <b>Russie:</b> Novovoronej 2 (à l'arrêt)	<b>V-230</b> <b>Russie:</b> Kola 1 et 2  A l'arrêt: <b>anc. RDA:</b> Greifswald 1 à 4 <b>Bulgarie:</b> Koslodui 1 à 4 <b>Slovaquie:</b> Bohunice 1 et 2  <b>V-213</b> <b>Russie:</b> Kola 3 et 4 <b>Ukraine:</b> Rovno 1 et 2 <b>Hongrie:</b> Paks 1 à 4 <b>Rép. tchèque:</b> Dukovany 1 à 4 <b>Finlande:</b> Loviisa 1 et 2 <b>Slovaquie:</b> Bohunice 3 et 4, Mochovce 1 et 2, Mochovce 3 et 4 (en constr.)  <b>V-270</b> <b>Arménie:</b> Armenia 1 (à l'arrêt), Armenia 2	<b>V-302</b> <b>Ukraine:</b> Ukraine du Sud 1  <b>V-338</b> <b>Ukraine:</b> Ukraine du Sud 2 <b>Russie:</b> Kalinin 1 et 2  <b>V-320</b> <b>Russie:</b> Balakovo 1 à 4, Kalinin 3 et 4, Rostov 1 à 3, Rostov 4 (en construction) <b>Ukraine:</b> Rovno 3 et 4, Zaporijia 1 à 6, Chmelnyzki 1 et 2, Ukraine du Sud 3 <b>Bulgarie:</b> Koslodui 5 et 6 <b>Rép. tchèque:</b> Temelin 1 et 2  <b>V-428</b> <b>Chine:</b> Tianwan 1 et 2, Tianwan 3 et 4 (en construction)  <b>V-412</b> <b>Inde:</b> Kudankulam 1, Kudankulam 2 (en construction)  <b>V-466</b> <b>Iran:</b> Bushehr 1	<b>V-491</b> <b>Russland:</b> Baltisk 1 (en construction), Leningrad-II 1 et 2 (en construction) <b>Biélorussie:</b> Belarus 1 et 2 (en construction)

Source: Rosatom

© 2015 Forum nucléaire suisse

aujourd'hui. Les deux premières tranches du type VVER-440/V-179 ont été couplées au réseau en 1971 et 1972, à Novovoronej. Entre 1973 et 1982, la Bulgarie, l'ancienne RDA, la Russie et la Slovaquie ont mis en service un total de douze VVER-400/V-230. De 1977 à 1999, 19 tranches supplémentaires du type amélioré VVER-400/V-213 – construites en Finlande, Russie, Slovaquie, République tchèque, Hongrie et Ukraine – sont venues s'y ajouter. Sur les deux VVER-400/V-270 mis en service en Arménie en 1976 et 1980, seul le plus récent est encore en exploitation.

Les travaux de conception des deux tranches VVER du site de Loviisa, en Finlande, ont été achevés vers 1971. Les concepteurs avaient tenu compte des exigences de

l'ancienne commission de l'énergie atomique américaine (Atomic Energy Commission, AEC) concernant les caractéristiques de dimensionnement des centrales de deuxième génération, dotant notamment leurs projets d'enceintes de confinement complètes. Toutes les tranches VVER subséquentes ont été conçues de manière à répondre à ces exigences.

### Le VVER-1000: ...

Les tranches de la série VVER-1000 n'offraient pas seulement des capacités de production d'électricité plus élevées: les ingénieurs russes les avaient également dotées de toute une série de dispositifs de sûreté supplémentaires. Novovoronej 5, une installation de démonstration, injecta pour la première fois du courant

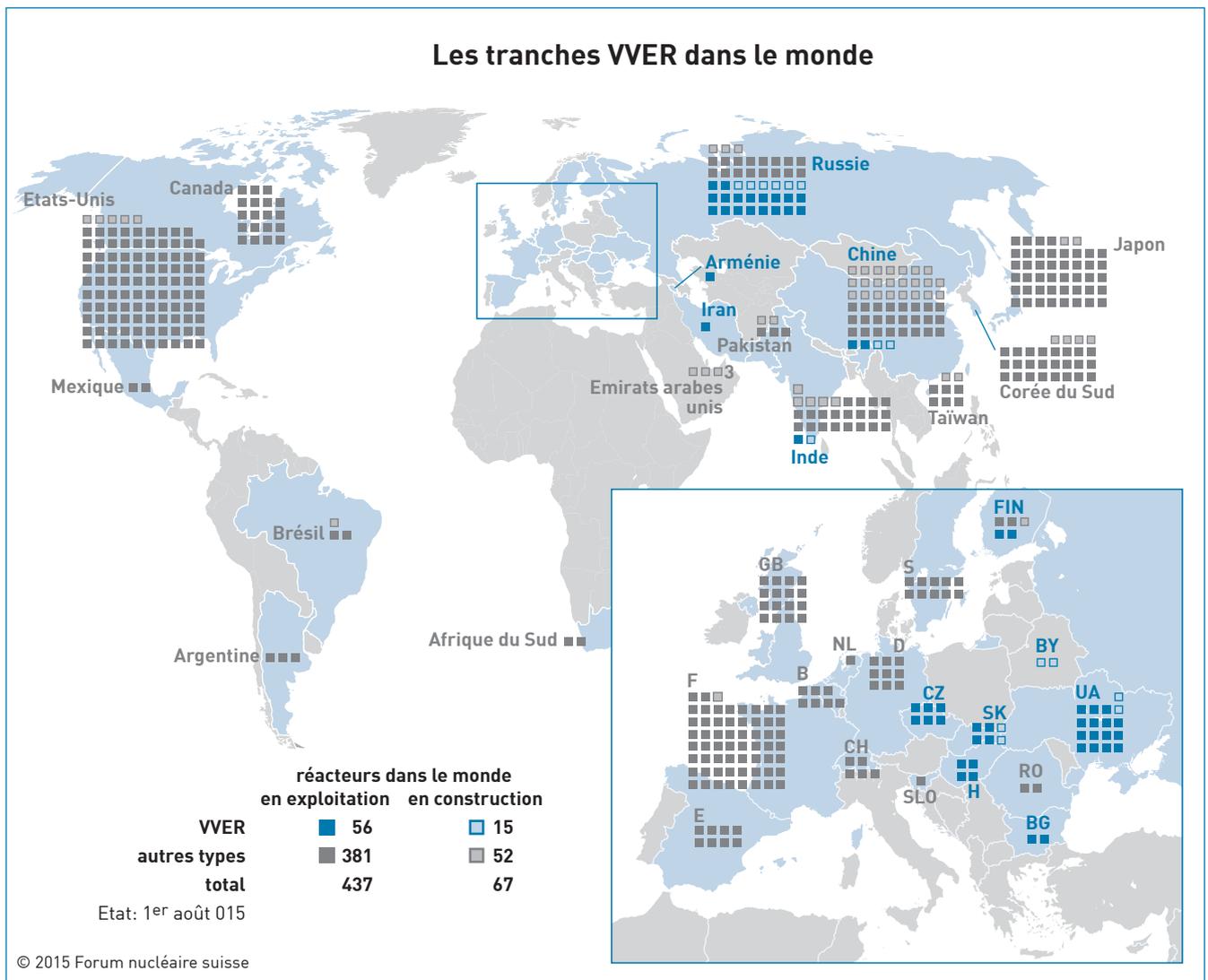
dans le réseau en 1980. Une présérie de deux fois deux tranches fut ensuite construite sur les sites d'Ukraine Sud et de Kalinine, et mise en service entre 1983 et 1986. La première tranche de la série standard, qui portait la désignation V-320, fut construite sur le site ukrainien de Zaporozhe et couplée au réseau en 1984. La vingt-quatrième tranche de ce type, Rostov 3, a été mise en service fin 2014. Une autre tranche de ce type standard est actuellement en construction sur le site de Rostov. Elle devrait entrer en production en 2017.

**... deux versions, et de premiers récupérateurs de corium**

Puisant dans la vaste expérience ainsi accumulée, deux filiales du groupe étatique russe Rosatom ont réalisé chacune une nouvelle version du VVER-1000: la société Atomenergoproekt de Saint-Pétersbourg a construit

l'AES-91 (ou VVER-1000/V-428), et son pendant éponyme de Moscou l'AES-92 (ou VVER-1000/V-412 et V-466). Dotées d'améliorations facilitant la gestion d'entreprise, ces nouvelles conceptions tenaient en outre compte des accidents hors dimensionnement par le biais d'une combinaison de systèmes de sûreté actifs et passifs. Selon les informations fournies par Rosatom, les deux tranches AES-91 construites sur le site de Tianwan, en Chine, sont les premières du groupe russe à être munies d'un récupérateur de corium. Elles sont en exploitation depuis 2006 et 2007.

La construction des deux premières tranches AES-92 du type V-412 a débuté en 2002 sur le site de Kudankulam, en Inde. Kudankulam 1 a été synchronisée avec le réseau en 2013 et mise en service commercial en 2014. La deuxième tranche devrait diverger pour la



première fois cette année encore. En décembre 2009, les entreprises leaders de la fourniture d'énergie en Europe ont confirmé que la conception de l'AES-92 était conforme au catalogue de critères de l'European Utility Requirements (EUR). La même certification a été décernée à Westinghouse pour l'AP1000 et à Areva pour l'EPR. Il était prévu de construire deux tranches AES-92 sur le site de Belene (Bulgarie), mais le projet a été stoppé. En revanche, l'Iran a construit, puis mis en service en 2011, sa première tranche nucléaire, Bushehr 1, un AES-92 du type V-466. L'AES-91 et l'AES-92 sont construits exclusivement en dehors de la Russie.

#### **Déjà en construction: le VVER-1200 – AES-2006**

L'AES-2006 est la conception VVER la plus moderne. Selon Rosatom, elle remplit toutes les exigences internationales posées à la génération III+ en matière de sûreté. Son développement a commencé au début des années 2000. L'un des principaux objectifs visés était de réduire les coûts sans apporter de modifications importantes au générateur de vapeur nucléaire, mais en améliorant la sûreté. La puissance thermique a été portée à 3200 MW et de nouveaux systèmes de sûreté passive ont été intégrés. Là aussi, les sociétés Atomenergoproekt de Saint-Petersbourg et de Moscou, s'inspirant de leurs versions du VVER-1000, ont chacune construit leur propre version de l'AES-2006. Cinq tranches de la V-491 de l'Atomenergoproekt de Saint-Petersbourg sont actuellement en chantier en Russie et en Biélorussie. Une sixième, destinée au site de Hanhikivi en Finlande, est en phase de planification. La première des deux tranches de type V-392M de l'Atomenergoproekt de Moscou devrait entrer en service en 2016 sur le site de Novovoronej. La deuxième devrait suivre en 2019. Quatre autres tranches de ce type sont en outre en projet pour le site d'Akkuyu, en Turquie.

#### **En développement: MIR-1200, VVER-TOI ...**

Le consortium russo-tchèque composé des sociétés JSC Atomstroieexport, Skoda JS a.s. et JSC OKB Hidropress a proposé le type de réacteur MIR-1200

(Modernised International Reactor) pour l'extension prévue du site de Temelin, en République tchèque. Ce réacteur s'inspire de la série AES-2006. Selon Rosatom, le MIR-1200 remplit les exigences imposées aux soumissionnaires par la République tchèque, lesquelles reprennent les critères de l'EUR tout en étant plus sévères à certains égards.

Le VVER-TOI (typical, optimized, with enhanced information) est une autre conception nouvelle. L'objectif est de développer une centrale nucléaire standardisée qui soit optimisée tant du point de vue technique que du point de vue économique. Il s'agit également de pouvoir échanger sans pertes les données et informations relatives à l'installation en recourant aux technologies de l'information modernes. Le VVER-TOI est développé par la société Atomenergoproekt de Moscou. Il s'inspire de l'AES-2006/V-392M et porte la désignation V-510. Deux bonnes douzaines de tranches de ce type sont en phase de planification en Russie.

#### **... et bien d'autres**

Le VVER-1200A (V-501) ne disposera plus que de deux boucles primaires, au lieu de quatre. Bien que cette solution nécessite l'utilisation de composants plus performants, elle devrait permettre d'abaisser les coûts de production, de construction et d'exploitation. Également en développement, le VVER-640 (V-407) sera doté de quatre boucles primaires et délivrera une puissance électrique de 640 MW utilisable pour couvrir les besoins d'énergie en ruban de même que pour le fonctionnement en suivi de charge. Enfin, avec le VVER-600 (V-498), les ingénieurs entendent développer une version réduite du VVER-1200 en utilisant des composants existants (M.B./D.B. d'après Rosatom: «The VVER today», édition non datée, et la présentation de Nikolai Fil d'OKB Hidropress: «Status and perspectives of VVER nuclear power plants» de juillet 2011, ainsi que la base de données PRIS de l'AIEA)

## Tchernobyl, 29 ans après

L'accident de réacteur le plus connu au monde fêtera ses trente ans au printemps 2016. La catastrophe de Tchernobyl influence aujourd'hui encore la politique énergétique de nombreux pays. Un nouveau confinement de sûreté pour le réacteur accidenté est actuellement en cours de construction sur le site. La raison était suffisante pour aller constater l'avancée des travaux sur place. Récit de voyage.

Tchernobyl se trouve à environ 130 km au nord de Kiev. La visite de la centrale accidentée se combine donc parfaitement avec une excursion dans la capitale. Nous nous attendions à trouver des bâtiments préfabriqués en béton datant de l'ère soviétique, les fameux «Plattenbau», mais avec ses nombreux parcs et ses vieux quartiers au caractère méditerranéen, la ville avait plutôt des airs d'Europe. Les monuments commémoratifs des victimes des manifestations sur le Maïdan de 2014 et de la crise qui a ensuite touché l'est de l'Ukraine rappellent aux visiteurs que le pays se trouve face à des défis politiques majeurs.

Au fil des ans, Tchernobyl attire de plus en plus de visiteurs. Les journalistes qui, au moment de l'ouverture de la zone, se sont faits les témoins de ce site historique, ont aujourd'hui laissé la place à un nombre croissant de simples visiteurs. D'après notre guide Nikolaï, les jeux vidéo ayant pour fond Tchernobyl et Pripjat sont à l'origine de cet engouement. L'an dernier, les visites affichaient complet au moment des manifestations sur la place du Maïdan à Kiev et du crash du vol MH17 de la Malaysia Airlines dans l'est de l'Ukraine. Un nombre de visiteurs record est attendu l'année prochaine à l'occasion du trentième anniversaire de l'accident. Notre guide nous précise cependant que le tourisme à Tchernobyl est davantage toléré qu'encouragé, et que les recettes générées sont faibles comparées aux coûts d'entretien de la zone.

Deux zones interdites entourent la centrale nucléaire: une zone intérieure qui s'étend sur un rayon de 10 km, et une autre sur un rayon de 30 km. Des postes de contrôles sécurisent les douze accès routiers. Autrefois, la zone de 30 km abritait 96 lotissements et deux villes. On traverse désormais ces anciennes habitations parfois sans le savoir, des arbres et arbustes ont été plantés partout autour et il faut bien chercher des yeux les bâtiments en ruine pour pouvoir les aper-

cevoir. Les «points chauds» (hotspots) dans lesquels la radioactivité est élevée sont signalés par des panneaux.

L'accident de réacteur a entraîné l'évacuation de près de 130'000 personnes et une décontamination minutieuse a été effectuée: 3 millions de m<sup>3</sup> de matériel ont ainsi été évacués et transportés dans des décharges adaptées. Il est possible de séjourner deux semaines au maximum dans la zone interdite des 30 km. Actuel-



Hotspot dans un village envahi par la forêt.

Photo: Beat Bechtold



**Réacteur 5 (à gauche) et une des deux tours de refroidissement à moitié achevées (à droite).**

Photo: Beat Bechtold

lement, environ un quart de la ville est habité, essentiellement par des ouvriers chargés des travaux d'entretien. Les touristes peuvent eux aussi rester plusieurs jours sur place. Après la décontamination, quelque 1200 personnes, essentiellement des personnes âgées, sont retournées dans cette zone élargie. Une femme de 87 ans est connue dans toute la région pour subvenir seule à tous ses besoins depuis son retour.

En revanche, il est strictement interdit de séjourner dans la zone interdite de 10 km qui entoure la centrale. Une fois le poste de contrôle passé, les réacteurs ne sont plus très loin. On peut apercevoir le nouveau confinement de sûreté aux allures quelque peu futuristes, qui sera placé autour de la tranche Tchernobyl 4. Nous passons ensuite devant les tranches 5 et 6, avec leurs tours de refroidissement à moitié achevées. Les travaux avaient cependant repris après l'accident, pour être à nouveau interrompus peu de temps après. On peut voir aujourd'hui les constructions et les grues se couvrir doucement de rouille.



**Le nouveau confinement de sûreté (à gauche) et le sarcophage de la tranche 4 (à droite).**

Photo: Beat Bechtold

Juste à côté de la tranche 4 accidentée, les travaux de construction du nouveau confinement de sûreté de 30'000 tonnes sont déjà bien avancés. Une fois terminé, l'ensemble sera poussé au-dessus du sarcophage existant à l'aide de rails. Le financement est pris en charge par 48 pays au total via la Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD) et le Tchernobyl Shelter Fund.

Nous terminons notre séjour par une excursion dans la ville de Pripiat. Contrairement à Tchernobyl, celle-ci est peu connue bien qu'elle soit bien plus grande (50'000 habitants contre 13'000 pour Tchernobyl). Pripiat n'a été construite qu'en 1970, à proximité immédiate de la centrale nucléaire, et était considérée comme une ville soviétique modèle destinée aux familles des ouvriers. Depuis son évacuation quelques années plus tard, elle se détériore lentement. Non



**Immeubles d'habitation à Pripiat.**

Photo: Beat Bechtold

seulement la nature y a repris ses droits mais elle a été beaucoup vandalisée au cours des dernières décennies. Le rôle des touristes n'est pas toujours très glorieux, et il n'est pas rare de les voir remettre des objets en place uniquement pour la photo. Cette dégradation progressive rend dangereuse toute visite des bâtiments. Notre guide pense qu'au premier incident sérieux avec un visiteur étranger, les autorités interdiront le tourisme dans la ville. Cela serait dommage. Plusieurs jours après, le calme et l'abandon qui régnaient à Pripiat, ainsi que le retour en force de la nature, étaient encore dans tous les esprits.



**Installation radar Duga 1.**

Photo: Beat Bechtold

Un autre lieu mérite le détour dans la zone interdite: une installation radar colossale d'environ 150 m de haut pour 750 m de long, nommée Duga 1, qui permettait à l'époque au régime soviétique de détecter les missiles intercontinentaux à une distance de 15'000 km.

Suite à l'accident de réacteur, le radar a été mis hors service et apparaît aujourd'hui comme un vestige exceptionnel, mais délabré, de la guerre froide. Le site figure sur l'ensemble des cartes comme étant une colonie de vacances. Voilà donc toute l'ironie de l'histoire: une installation militaire top-secrète il n'y a encore pas si longtemps devenue désormais lieu de tourisme. D'après Nikolai, il serait question de démonter la construction en acier.

A l'issue d'une journée riche en découvertes, nous quittons la zone interdite. Une mesure de notre radioactivité est effectuée à chaque fois que nous franchissons un périmètre. Les territoires étendus ont été entièrement décontaminés et nos compteurs Geiger affichent des valeurs parfaitement inoffensives. Des valeurs plus élevées, jusqu'à 20  $\mu\text{Sv/h}$  (soit environ 175 mSv/an), ont été relevées uniquement à proximité des hotspots signalés. Ainsi, les personnes présentes lors de ce voyage privé organisé début août 2015 ont été exposées à une dose plus importante lors des deux heures et demie de vol aller-retour qu'au cours de la visite d'une journée dans la fameuse zone interdite de Tchernobyl. (Matthias Dornbierer et Beat Bechtold/C.B.)

## Comparaison de photographies août 1990 – août 2015

### Entrée de la centrale.

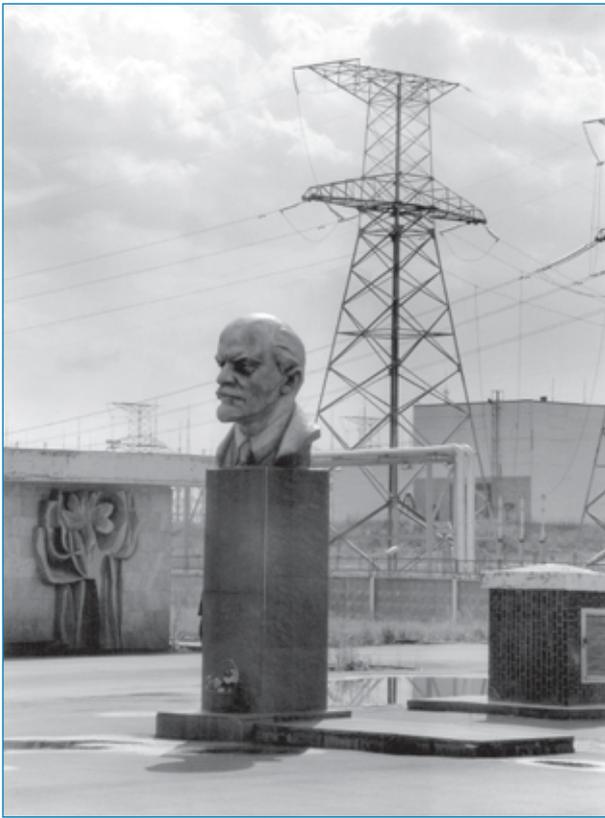


Photo: Michael Schorer



Photo: Beat Bechtold

### Ancien sarcophage de la tranche 4.



Photo: Michael Schorer



Photo: Beat Bechtold

**Centre ville de Pripiat.**

Photo: Michael Schorer



Photo: Beat Bechtold

**Parc d'attractions de Pripiat.**

Photo: Michael Schorer



Photo: Beat Bechtold

## Le Japon renoue avec l'énergie nucléaire

Au Japon, deux types de retour ont fait les gros titres des médias: celui de la population dans la zone accidentée autour de Fukushima-Daiichi a suscité peu d'intérêt en Suisse. Celui du nucléaire en revanche a davantage fait parler de lui, sous des angles très contrastés.

L'annonce du gouvernement japonais concernant la levée de l'ordre d'évacuation autour de la centrale nucléaire accidentée de Fukushima-Daiichi d'ici mars 2017 a trouvé peu d'écho dans les médias Suisse. Mais grâce à Greenpeace, la nouvelle n'est pas complètement passée pas à la trappe. Jugeant inacceptable le danger auquel serait exposée la population en cas de retour dans la région, l'organisation environnementale a en effet lancé un de ses fameux appels internationaux. Après avoir effectué ses propres mesures de radioactivité sur place, elle a conclu que la décision «condamnait» les habitants «à une exposition au rayonnement», «le gouvernement japonais n'ayant pas décontaminé la région». Des valeurs correspondant parfois à «une dose annuelle supérieure à dix millisieverts» auraient été mesurées. C'est «dix fois la limite autorisée au niveau international».

### Mise au point de l'Office allemand de radioprotection

Les accusations des militants écologistes n'ont pas été remises en question par le «Blick», qui a repris le sujet dans un article publié sur son site internet, tout comme le portail «Spiegel Online». Entretemps, la rédaction a toutefois ajouté une «remarque»: «Concernant l'emploi des substances radioactives, la loi autorise une dose annuelle maximale d'un millisievert, à laquelle s'ajoute la radioactivité naturelle, qui varie selon les endroits, et s'établit en moyenne à 2,1 millisieverts par an en Allemagne. D'après l'Office fédéral de radioprotection, la valeur de dix millisieverts mesurée dans la région de l'île est parfois également atteinte en Allemagne.»

«Le Courrier de Genève» en date du 23 juillet 2015 fournit un rapport plus détaillé et contrasté dans son article «Le dilemme des évacués de Fukushima». L'histoire racontée, celle d'un propriétaire de restaurant de la commune de Naraha, où l'ordre d'évacuation avait été levé en septembre 2014, présente le retour des habitants sous d'autres aspects, plus pratiques. La liaison ferroviaire a ainsi été rétablie, un petit supermarché et

une banque ont rouvert, mais certaines infrastructures n'ont pas été remises en service et d'autres magasins sont toujours fermés. Les maisons endommagées n'ont pas encore été réhabilitées. Le propriétaire estime que 20% maximum de la population d'origine reviendra prochainement. Le «Courrier de Genève» a également donné la parole à un «expert» de Greenpeace qui, bien qu'il acceptait «la décision des habitants», critiquait les travaux de décontamination et mettait en garde contre le retour de la population.

### «Des citoyens inquiets, une économie rassurée»

Cette citation du «Neue Zürcher Zeitung» (NZZ) du 11 août 2015 résume assez bien la couverture médiatique suisse de la première remise en service d'une centrale nucléaire japonaise depuis l'automne 2013. En effet, les différents articles se sont focalisés soit sur l'un soit sur l'autre aspect. Ainsi, la «NZZ» a certes mentionné le sondage d'opinion d'un grand journal japonais, selon lequel 60% des personnes interrogées étaient contre la remise en service des centrales nucléaires. Mais les conséquences économiques de l'arrêt provisoire de l'ensemble des installations du pays ont pris davantage de place sur le papier. «En raison de l'arrêt des centrales, les ménages ont vu leur facture d'électricité augmenter de près de 20%, et les entreprises de près de 30%», a indiqué la «NZZ». Sans parler des importations des agents énergétiques fossiles, qui ont coûté au pays près de 30 milliards de francs par an. Par ailleurs, les électriciens japonais rencontrent de grandes difficultés. Seule l'exploitante de la centrale de Sendai a reçu l'équivalent de 780 millions de francs de la part de la banque de développement de l'Etat. Mais «grâce au courant nucléaire, l'économie locale peut espérer que les prix de l'énergie cesseront d'augmenter».

### «La chasse à la baleine d'autrefois»

Un journaliste du «Tagesanzeiger» ne partage pas du tout l'avis de la «NZZ». Pour lui, le Premier ministre japonais paiera cher le retour du nucléaire au plan poli-

tique, et «cause du tort à l'avenir énergétique de son pays». Il regrette essentiellement la part négligeable des énergies renouvelables dans le futur mix électrique du Japon: «Les énergies renouvelables (hors hydraulique) ne représenteront que 14% de la production d'électricité du pays.» En réalité, ces chiffres sont même ambitieux. Le journaliste qualifie les énergies renouvelables de laissées-pour-compte, avant d'ajouter: «A long terme, le Japon regrettera de s'être focalisé sur l'énergie nucléaire. Cela prive l'économie de la possibilité de développer, grâce aux subventions de l'Etat, un approvisionnement énergétique qu'il pourrait exporter.» Le journaliste compare ensuite l'énergie nucléaire à la chasse à la baleine, puisque «le nucléaire est une technologie du passé, et pas seulement parce que sa sécurité au Japon, un pays ravagé par les séismes, les volcans et les typhons, ne peut pas être garantie. Si tant est qu'elle le soit quelque part». Le «Tagesanzeiger» arrive d'ailleurs à la même conclusion: «La plupart des Japonais sont opposés au nucléaire. Malgré cela, M. Abe est prêt à payer un prix politique fort sans pour autant que cela n'aide le Japon. Au contraire: il empêche son pays high-tech de se hisser à la pointe de l'avenir énergétique.»

### «Un exercice périlleux»

D'autres journaux ont basé leur couverture médiatique sur des communiqués d'agences, et les contenus étaient donc relativement similaires. Ainsi, certains journaux comme le «Freiburger Nachrichten» ont commencé leur article par des informations techniques: «A 10h30 heure locale, les barres de commande de la centrale nucléaire de Sendai ont été levées, produisant une réaction de fission.» On pouvait ensuite lire par exemple dans l'«Aargauer Zeitung» (AZ) qu'il n'était pas simple de redémarrer une centrale nucléaire après un arrêt prolongé. Le «Freiburger Nachrichten» écrivait à ce sujet: «Les experts du monde entier ont mis en garde sur le fait qu'il s'agissait d'un exercice périlleux. En effet, la plupart des réacteurs n'ont produit aucune réaction en chaîne depuis au moins quatre ans. L'autorité de sûreté nucléaire créée suite à Fukushima a elle aussi appelé l'exploitante Kyushu Electric à la prudence. Mais l'entreprise tente de calmer le jeu: le réacteur ne sera pas porté à sa pleine puissance immédiatement, mais redémarré progressivement sur une durée d'un mois.» L'«AZ» se référait quant à elle aux «indications de l'Agence internationale de l'énergie nucléaire AIEA», selon lesquelles «par le passé, les 14 réacteurs qui avaient été arrêtés sur une durée supérieure à quatre ans ont dû être déconnectés du

réseau dans le cadre d'un arrêt d'urgence en raison de problèmes techniques». En outre, le Japon est le «premier pays qui prévoit de tels redémarrages en série». Pour les deux journaux cités, le «Retour risqué au nucléaire au Japon» (titre de l'AZ) se fait sous la pression du Premier ministre et contre la volonté de la population.

### Un mur de 22 mètres contre les tsunamis

La couverture médiatique en Suisse romande a d'abord été sensiblement similaire. Ainsi, l'édition en ligne du «24 heures» a elle aussi qualifié le redémarrage des centrales nucléaires de «victoire pour le gouvernement de Shinzo Abe, qui articule sa politique énergétique autour de l'énergie nucléaire». On peut lire cependant plus loin que sans le nucléaire, le Japon est dépendant d'importations massives de charbon, de gaz et de pétrole. Il en résulte une «facture d'électricité à la hausse et une balance commerciale dans le rouge». A noter tout de même, une fois n'est pas coutume, que le «24 heures» a cité les mesures prises par l'industrie nucléaire japonaise depuis 2011. Le pays aurait ainsi déboursé «plusieurs milliards pour protéger ses installations contre les séismes, tsunamis et typhons». Un «mur anti-tsunami» de 22 mètres de haut sur 1,6 km de long a été construit dans le Pacifique autour de la centrale de Hamaoka. Et suite à Fukushima, il a été demandé aux exploitantes d'augmenter le nombre de générateurs diesel de secours, et d'accroître la fiabilité de ces derniers. Le président de l'autorité de sûreté nucléaire japonaise a déclaré dans le plus important journal de Suisse romande que les nouvelles directives permettront dorénavant «de maîtriser un accident avant qu'il ne prenne les proportions de Fukushima». Pour finir, le «24 heures» a également mentionné des sondages et manifestations. Inutile ici de commenter la citation de Greenpeace à la fin de l'article: «Le redémarrage de la centrale de Sendai n'est pas nécessaire. Pendant près de deux ans, le Japon a réussi à produire suffisamment d'électricité sans le nucléaire.»

### Le tournant énergétique est possible mais coûtera cher

Dans un article, «Le Temps» a clairement indiqué l'origine du courant mentionné par Greenpeace. Dans les premières lignes, l'auteur faisait toutefois une grave erreur en affirmant ce que de nombreuses personnes en Europe croient savoir du fait du contenu unilatéral des médias: que la «catastrophe de Fukushima» a causé «le décès d'environ 3000 personnes et l'évacuation de près de 300'000 autres». Il énumère ensuite les

conséquences de la sortie provisoire du nucléaire. L'arrêt des centrales nucléaires a ainsi été compensé par des mesures d'économie d'électricité et par le «recours intensif aux centrales à gaz et à mazout». D'après l'article, les installations en exploitation tournent à plein régime et «les centrales arrêtées pour diverses raisons sont redémarrées de manière exceptionnelle». Ainsi, le «tournant énergétique» sera possible sans coupures de courant. «Mais», toujours d'après l'article, «il coûtera cher au Japon. Le pays devra importer des quantités importantes de pétrole pour sa production d'électricité, ce qui occasionnera des frais supplémentaires considérables pour les entreprises.» Il s'accompagnera également d'une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, ce qui est en contradiction avec les objectifs de Kyoto dans la lutte contre le réchauffement climatique. Le rédacteur du journal «Le Temps» estime que «sur le long terme, une décision stratégique s'imposera»: les autorités japonaises pourront soit «libérer leur pays du nucléaire», et pour cela, dans tous les cas, elles devront redémarrer provisoirement quelques réacteurs, soit continuer à «miser sur l'atome, avec les risques que cela comporte».

#### «Une vérité simple mais qui dérange»

Pour conclure notre analyse de ces différents articles sur le nucléaire au Japon, voici un commentaire du «RhoneZeitung» du 13 août 2015: «De notre point de

vue en Suisse, la décision du Japon suscite étonnement et désapprobation». «L'Agence internationale de l'énergie atomique estime cependant que le nucléaire a de beaux jours devant lui au plan international.» Et même si toutes les informations citées dans l'article ne sont pas correctes («Dans la liste des pays qui ont mis à l'arrêt toutes leurs installations nucléaires après 2011 et ont abordé le tournant énergétique, il convient de citer l'Allemagne.»), nous sommes entièrement d'accord avec l'auteur du commentaire lorsqu'il écrit: «Actuellement, les énergies solaire et éolienne sont subventionnées à hauteur de 20 milliards d'euros chaque année chez notre voisin du nord. Or les centrales hydrauliques suisses, dont le rendement est médiocre, sont impactées par la suroffre de courant allemand subventionné qui en résulte. Et à tous les Suisses qui regardent vers le nord avec curiosité et malgré tout jalousie: prendre l'Allemagne pour exemple en matière de politique énergétique, oui. Mais comme un exemple à ne pas suivre.» «Les politiciens suisses qui ont décrété un tournant énergétique après Fukushima sans même savoir où mènerait ce merveilleux projet populiste devraient tenir compte de ces faits.» Nous n'avons rien à rajouter non plus au bilan du journal valaisan: «En réalité, la vérité est simple, mais elle dérange: le solaire et l'éolien ne sont pas encore prêts à remplacer l'énergie nucléaire. Pour des raisons économiques, la Suisse devra faire avec le nucléaire pendant encore 50 ans.» (M.Re./C.B.)

## En Suisse

A la différence du Conseil national, la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil des Etats (**CEATE-E**), dans le cadre de ses consultations sur la Stratégie énergétique 2050, a décidé de n'introduire dans la loi **aucune disposition visant à limiter la durée d'exploitation** des centrales nucléaires ou à prévoir un **concept d'exploitation à long terme**. Elle se rallie par contre à l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires.

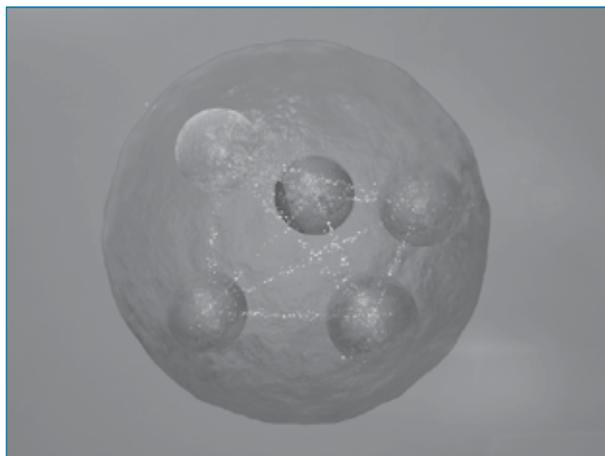
Par rapport à 2013, la **consommation finale d'énergie** en Suisse **a diminué** de 7,7% pour s'établir à 825'770 térajoules (TJ) **en 2014**. Il s'agit de la plus basse enregistrée au cours des 17 dernières années. Pour l'Office fédéral de l'énergie, des conditions météorologiques favorables sont à l'origine de cette baisse.

Entre le 7 avril et le 26 juin 2015, **631 fûts** de déchets faiblement radioactifs issus de l'exploitation des cinq centrales nucléaires suisses ont été traités dans le four à plasma du centre de stockage intermédiaire **Zwilag**. Cette technique permet de diviser par cinq le volume des déchets.

Le **couvercle de la cuve de pression** de la tranche nucléaire **Beznau 1** a été **remplacé**. Le couvercle de Beznau 2 sera lui aussi remplacé par mesure de prévention.

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (**IFSN**) a mis en vigueur une **nouvelle directive** sur l'évaluation de sécurité des installations nucléaires. Celle-ci décrit les exigences pour l'évaluation courante de l'exploitation des installations nucléaires.

Les chercheurs de l'expérience menée par l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire **Cern** à Genève ont observé un **agencement de particules élémentaires** composé de cinq quarks.



**La nouvelle particule de pentaquark observée se compose de cinq quarks. Illustration de l'agencement possible des quarks dans une particule pentaquark comme celle découverte par la collaboration LHCb.**

Photo: Cern / Collaboration LHCb

Les 11 et 12 juin 2015, la Centrale nationale d'alarme (**CENAL**) de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) a réalisé sa campagne de **mesure aëroradiométrique** annuelle. Cette année, l'hélicoptère a survolé les environs des centrales nucléaires de Mühleberg et de Gösgen. Comme les années précédentes, les **valeurs** obtenues sont **normales**. →

## A l'étranger

L'**Assemblée nationale**, la chambre basse du Parlement français, a **adopté** le projet de loi du gouvernement «**transition énergétique pour la croissance verte**» le 22 juillet 2015 à l'issue d'une dernière lecture. Le texte prévoit notamment une baisse de la part du nucléaire à 50% d'ici 2025.



Suite à l'adoption du projet de loi du gouvernement français «**transition énergétique pour la croissance verte**», la ministre de l'Énergie, Ségolène Royal, a déclaré que la France s'était dotée de la «**législation la plus en avance des pays industrialisés**».

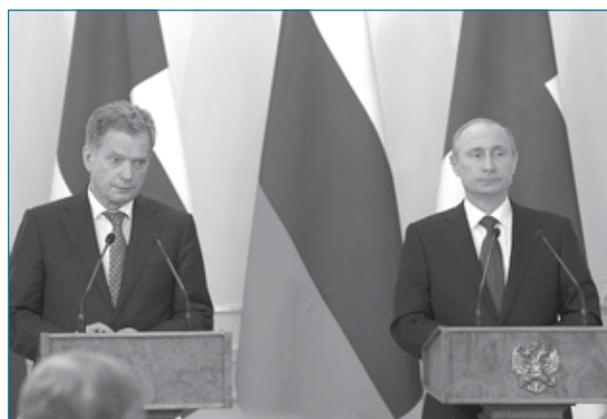
Photo: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Le **gouvernement tchèque** a approuvé le Plan d'action national pour l'énergie nucléaire. Elaboré par le ministère de l'Industrie et du Commerce en collaboration avec le ministère des Finances, ce plan prévoit la construction de **nouveaux réacteurs** sur les sites de Dukovany et Temelin.

Le **gouvernement sud-coréen** a présenté un nouveau plan sur 15 ans relatif à l'approvisionnement électrique. Celui-ci prévoit la construction de **deux nouvelles tranches** nucléaires afin de couvrir la demande croissante en électricité.

La **Russie** et l'**Arabie saoudite** ont signé une **déclaration d'intention** portant sur leur collaboration dans le domaine de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. La Russie a également conclu des déclarations d'intention de ce type avec l'Afrique du Sud, le Ghana, le Myanmar et la Tunisie.

Le président russe Vladimir Poutine a indiqué que la **Russie** avait **financé** la première partie de la construction de la tranche nucléaire **Hanhikivi 1**, à hauteur d'1 milliard d'euros (CHF 1,08 mia.).



Le président finlandais, Sauli Niinistö, et son homologue russe, Vladimir Poutine, se sont exprimés sur la construction de la tranche nucléaire finlandaise Hanhikivi 1 lors d'une conférence de presse commune.

Photo: Bureau du président russe

Le **Canada** et la **Grande-Bretagne** ont eux aussi signé une **déclaration d'intention** destinée à renforcer la collaboration dans le domaine de l'utilisation civile de l'énergie nucléaire.

La Banque européenne pour la reconstruction et le développement (**BERD**) crée un **nouveau fonds** pour aider à éliminer l'héritage minier issu de l'extraction et du traitement de l'uranium pendant l'ère soviétique au Kirghizstan, au Tadjikistan et en Ouzbékistan.

L'entreprise étatique SE Ignalian Nuclear Power Plant (**INPP**) a transmis à l'autorité lituanienne de sûreté nucléaire (Vatesi) une **demande de construction et de mise en service** d'un **dépôt final de surface** pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs à courte durée de vie. →

Les premiers déchets de faible et de moyenne activité ont été transportés dans le **dépôt final souterrain** de Gyeongju, dans le sud-est de la **Corée du Sud**, à proximité de la centrale nucléaire de Wolsong. Le premier dépôt en couches géologiques profondes d'**Asie** est ainsi officiellement en service.



**Mise en service du premier dépôt en couches géologiques profondes d'Asie: le premier conteneur de béton composé de 16 fûts a été placé dans un des six silos.**

Photo: Korad

L'autorité de sûreté nucléaire espagnole (CSN) a déclaré que le site de **Villar de Canas** était **adapté** pour accueillir un **dépôt intermédiaire central** destiné aux assemblages combustibles usés et aux déchets hautement radioactifs, sous conditions.

La **sixième tranche** de la centrale nucléaire chinoise de **Hongyanhe** est officiellement **en construction** depuis le 24 juillet 2015.



**Les ouvriers coulent le premier béton de la tranche Hongyanhe 6 du type ACPR-1000, dans la province chinoise de Liaoning.**

Photo: CGN

Comme prévu, la tranche nucléaire japonaise **Sendai 1** a été **synchronisée** avec le réseau le 14 août 2015. Sendai 1 est le premier réacteur du Japon à reprendre la production d'électricité depuis l'accident de réacteur de Fukushima-Daiichi du 11 mars 2011.

D'après China National Nuclear Corporation (CNNC), la tranche nucléaire **Fuqing 2**, dans la province chinoise du Fujian, a pour la première fois **délivrée de l'électricité** sur le réseau le 6 août 2015.

Le Finlandais **Fennovoima Oy** a remis au ministère finlandais de l'Emploi et de l'Economie sa **demande de permis de construire** pour la tranche nucléaire **Hanhikivi 1** le 30 juin 2015, soit le dernier jour avant l'expiration du délai.

Le **module CA-01** a été installé dans l'enceinte de confinement du réacteur de la première des deux tranches AP1000 prévues sur le site de **Virgil C. Summer**, à Jenkinsville, dans l'Etat américain de Caroline du Sud. Ce module abritera les générateurs de vapeur et le canal utilisé pour le chargement du combustible.



**La grue rotative de grande capacité abaisse le module CA-01 dans l'enceinte de confinement de la tranche AP1000 Virgil C. Summer 2.**

Photo: SCE&G

La Chambre des représentants belge a approuvé une **prolongation** de l'autorisation d'exploitation pour les tranches nucléaires **Doel 1 et Doel 2**. Les deux installations pourront rester en service jusqu'en 2025. →

La **cuve de pression** de la **tranche 2** de la centrale nucléaire de **Barakah**, dans les Emirats arabes unis (EAU), a été posée avec succès.

Georgia Power Company a franchi une nouvelle étape dans la construction de la tranche **Vogtle 4** du type AP1000, dans l'Etat américain de Géorgie, avec l'installation du **module CA-04**. Le même module avait déjà été mis en place pour la tranche Virgil C. Summer 2.

D'après China Nuclear Engineering Corporation (CNEC), la **cuve de pression** du **troisième réacteur** de la centrale nucléaire de **Tianwan**, dans la province chinoise du Jiangsu, a été mise en place avec succès.

D'après State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC), les deux **générateurs de vapeur** de la tranche chinoise **Sanmen 2** du type AP1000 ont été placés avec succès.



Le second générateur de vapeur de la tranche chinoise **Sanmen 2** du type AP1000 a été placé dans le bâtiment réacteur.

Photo: SNPTC

Les **dômes** des tranches nucléaires chinoises **Haiyang 2** et **Sanmen 2** ont été installés. Cette étape marque la fin du gros œuvre sur les bâtiments réacteur des deux tranches AP1000.

La Croatie et la Slovénie se sont mises d'accord sur une **prolongation** de l'exploitation de 20 ans de leur centrale nucléaire commune, **Krsko**. La tranche appartient en effet à parts égales aux deux pays depuis 2001. La quantité d'électricité produite est elle aussi divisée en deux.

Après avoir analysé les résultats du réexamen décennal de sûreté de **Tricastin 3**, l'Autorité française de sûreté nucléaire (ASN) a autorisé l'exploitation du réacteur à eau sous pression de 915 MW durant **encore dix ans**. La propriétaire et exploitante de Tricastin 3, Electricité de France (EDF), devra cependant remplir quelques conditions.

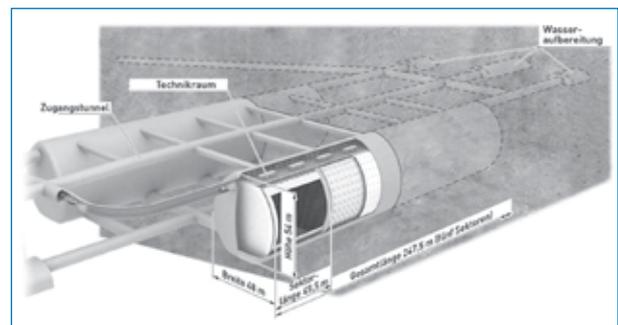
Le 20 mai 2015, l'autorité de sûreté nucléaire japonaise (NRA) a déjà confirmé dans un rapport provisoire que la tranche nucléaire **Ikata 3** était **conforme aux directives japonaises** renforcées. Le rapport doit désormais faire l'objet d'une procédure de consultation publique.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a **prolongé** de cinq ans les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires **Bruce A et B**.

L'Allemand E.On a **déconnecté** du réseau la centrale nucléaire de **Grafenrheinfeld** le 27 juin 2015 suite à une décision du gouvernement allemand en date de 2011. La tranche avait été mise en service 33 ans plus tôt.

Ameren Corporation a **retiré** sa **demande d'autorisation combinée** de construction et d'exploitation (Combined License, COL) pour la tranche nucléaire **Callaway 2** en projet dans l'Etat américain du Missouri.

Le **Japon** prévoit de construire un **nouveau détecteur de neutrinos** dans le cadre d'une collaboration internationale. Les scientifiques espèrent ainsi combler certaines zones d'ombre dans notre compréhension de l'Univers. →



Structure schématique de l'expérience Hyper-Kamiokande en projet au Japon.

Photo: Collaboration Hyper Kamiokande

---

Le Département américain de l'énergie (**DOE**) a décidé d'allouer plus de **60 millions** de dollars (CHF 59 mio.) aux **projets de recherche nucléaire et aux programmes d'amélioration de l'infrastructure**. Il souhaite ainsi renforcer la sécurité d'approvisionnement et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

---

Le Français **Areva SA** a inauguré un **nouveau bureau** en Grande-Bretagne, à Westlakes (**Cumbrie occidentale**), qui lui permettra de soutenir de plus près les travaux de démantèlement actuels à Sellafield, ainsi que le projet Areva Convert.

---

**Westinghouse Electric Company LLC** a elle aussi ouvert un **nouveau bureau** en **Cumbrie occidentale** afin de pouvoir se rapprocher de ses clients actuels et futurs. Elle a également créé une **succursale** à **Abou Dhabi**, aux Emirats arabes unis (EAU), pour les mêmes raisons.

---

L'entreprise chinoise China National Nuclear Corporation (**CNNC**) et l'autorité de sûreté nucléaire égyptienne (**NPPA**) ont signé une **déclaration d'intention** fin mai 2015 dans le but de renforcer leur collaboration dans le domaine nucléaire.

---

L'agence nationale indonésienne pour l'énergie nucléaire (**Batan**) a demandé à un consortium international d'effectuer les **travaux préparatoires** en vue du développement du **réacteur d'essai** en projet dans le pays: un réacteur modulaire à haute température fonctionnant avec des billes de combustible d'une puissance de 10 MW.

---

La cour de justice de l'Union européenne (**CJUE**), la plus haute juridiction de l'Union, estime que la **taxe allemande sur le combustible nucléaire** est **compatible** avec le droit de l'Union. Les juges de la CJUE ont ainsi suivi les conclusions de l'avocat général de février 2015. Le jugement de la Cour constitutionnelle allemande concernant la constitutionnalité de cette loi est encore attendu.

---

La Chancellerie autrichienne a remis à la cour de justice de l'Union européenne (**CJUE**) une **plainte** concernant la décision de la Commission européenne d'accorder des mesures d'encouragement au gouvernement britannique pour la centrale nucléaire en projet **Hinkley Point C**. Le Parlement autrichien soutient cette plainte.

---

Un groupement composé de Greenpeace Energy, de l'électricien allemand Filstal, de l'Autrichien Oekostrom AG et de plusieurs régies municipales allemandes ont également présenté une **plainte** en ce sens auprès de la **CJUE**. (M. A./C.B.)

---

► *Pour une version plus détaillée des articles de cette rubrique et pour des informations sur les autres questions qui font l'actualité de la branche et de la politique nucléaires aux plans national et international, rendez-vous sur [www.ebulletin.ch](http://www.ebulletin.ch).*

Kurt Lanz



## Les Trois Jeunes Détectives et la vision énergétique 2050

Mes enfants adoraient les romans de la série «Les Trois Jeunes Détectives», dans laquelle un trio de jeunes adolescents résout toutes sortes d'énigmes. La Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral – qui vise l'abandon du nucléaire, la réduction de la consommation d'énergie et le développement des nouvelles énergies renouvelables – nous place elle aussi devant une énigme: comment garantir un approvisionnement énergétique stable à prix abordable avec la recette qu'elle propose, à savoir une bonne dose de subven-

tionnement, un peu d'économie de plan et un soupçon de bonne foi? Cela reste un grand point d'interrogation. Bien que la dangerosité de ces ingrédients pour l'économie soit connue de longue date, il y a toujours des gens pour croire à un tel conte de fées. Or, ce qui est en jeu ici, ce sont les fondements mêmes de notre prospérité (ce qui n'enlève rien à l'attrait des soirées de contes passées avec les enfants). Nul n'a le droit de jouer avec la stabilité de la place économique suisse. Mes enfants doivent avoir un avenir dans notre pays. C'est pourquoi il est urgent d'apporter des adaptations à cette coûteuse expérience.

### À propos de l'auteur

Kurt Lanz est membre de la direction d'économiesuisse et responsable du domaine infrastructures, énergie & environnement de cette organisation. Il a étudié l'économie, la sociologie et l'écologie à l'université de Berne.

Il a commencé sa carrière chez Swisscom, où il a exercé différentes fonctions pendant près d'une décennie, occupant en dernier lieu le poste de «Head of Public Policy and International» à l'échelon du groupe. Il a ensuite rejoint Sunrise Communications SA, où il s'est engagé en faveur de l'instauration de conditions-cadres favorables à la concurrence dans le secteur des télécommunications, avant d'être engagé par les CFF, entreprise dont il a développé le domaine Affaires publiques, mettant en place une gestion professionnelle des parties prenantes à l'échelle du groupe. Il a en outre été en charge de l'ensemble des affaires politiques des CFF jusqu'à son entrée chez economiesuisse en 2012.

### Il était une fois ...

Depuis plusieurs décennies, notre pays produit avec succès de l'électricité renouvelable à partir de la force hydraulique. Vers 1960, les entreprises suisses d'approvisionnement en électricité se sont toutefois rendu compte que la force hydraulique, à elle seule, ne suffisait plus à assurer un approvisionnement sûr en énergie. On a donc misé en plus sur l'énergie nucléaire, en particulier parce que cette solution permettait de réduire notre dépendance envers le pétrole, de même que les émissions nocives pour le climat. Ces décisions ont notamment été prises sous l'impulsion du conseiller fédéral socialiste Willy Spühler, fervent partisan de l'énergie nucléaire. La stratégie énergétique vise à revenir en arrière et à remplacer le nucléaire par des énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien. Néanmoins, même si des centaines de millions de francs de subventions ont été versées depuis six ans aux nouvelles énergies renouvelables par le biais de la rétribution à prix coûtant (RPC), ces dernières n'assurent encore que 3,8% de notre approvisionnement en énergie. Cela s'explique essentiellement par leur dépendance envers les conditions météorolo-

giques. Elles ne pourront pas nous fournir une quantité d'énergie suffisante de façon constante dans un avenir prévisible. Or, l'économie a impérativement besoin de ce type d'énergie, étant donné qu'en Suisse, une panne d'électricité de 15 minutes seulement entraîne déjà un préjudice économique de 250 millions de francs.

### Lisez la notice d'emballage

La Suisse perd chaque semaine des places de travail en raison du franc fort. De nombreuses entreprises sont dans les chiffres rouges ou doivent calculer serré. Comme c'est si souvent le cas en période de difficultés économiques, l'économie a en plus contracté un virus, celui du subventionnisme: elle tousse et s'enrhume, et peut même faire de fortes fièvres en cas d'affaiblissement de son système immunitaire. Dans pareil cas, la potion est souvent amère pour l'industrie: suppressions d'emplois et délocalisations. Si nous disposions de conditions-cadres stables et favorables, nous aurions les moyens de nous préparer à un hiver économique. Quand les températures sont en dessous de 0 °C, je ne laisse pas sortir mes enfants sans gants ni bonnets. Et lorsqu'il fait vraiment très froid, je leur fais mettre un

pull de plus. Ce principe devrait aussi s'appliquer à l'économie. Mais imposer des coûts supplémentaires à cette dernière, c'est comme envoyer ses enfants pieds nus dans la neige. Or, c'est exactement ce que le Conseil fédéral et le Parlement ont l'intention de faire: ils veulent imposer des coûts encore plus élevés à l'économie, alors que celle-ci traverse déjà une période difficile. Tout récemment encore, le Conseil fédéral a décidé d'augmenter la taxe sur le CO<sub>2</sub> de 40% par tonne à partir de 2016. Avec la stratégie énergétique, d'autres taxes (RPC, etc.) seront revues à la hausse et, fait encore plus grave, maintenues pendant de longues années. Ce genre de choses entraîne de malsaines distorsions du marché. Lorsqu'on prend des médicaments pour traiter une maladie, le dosage est essentiel. Il en va de même pour le financement des technologies nouvelles. Un financement de départ ciblé, accordé pendant un bref laps de temps, peut donner à une technologie le coup de pouce qui lui permettra de s'établir sur le marché. Par contre, tout subventionnement de longue durée est un poison pour l'économie. Par conséquent, le principe suivant s'applique aussi à la stratégie énergétique: lisez la notice d'emballage! →

## forumnucleaire.ch – un site clair, structuré et moderne

- ▶ **Abord facile grâce** à des liens menant aux principaux contenus
- ▶ **Informations exhaustives** et faciles à trouver, grâce à la nouvelle structure et à une fonction de recherche moderne
- ▶ **Gestion simple** des données et des abonnements de l'utilisateur avec possibilité de **visualiser** les commandes et les inscriptions, grâce à l'outil «**Mon compte**»

### Une parfaite intégration au Web

forumnucleaire.ch – la bonne adresse pour tout ce qui touche à l'énergie nucléaire

- ▶ **twitter.com/kernenergienews** – accès à tous les twitteurs de la branche nucléaire, où qu'ils soient dans le monde
- ▶ **youtube.com/nuklearforum** – les vidéos proposées ou recommandées par le Forum nucléaire
- ▶ **Vous aimez forumnucleaire.ch?** Recommandez nos contenus par courriel, Facebook ou Twitter. Vous trouverez toutes les fonctions nécessaires sur le site.

### «Retour vers le futur», ça n'existe qu'à Hollywood

La stratégie énergétique prévoit non seulement d'augmenter les coûts, mais aussi d'économiser l'énergie. D'ici 2035, notre consommation d'énergie devrait être ramenée à son niveau des années 1960 ou 1970. Pour intéressante que soit une rétrospective de l'époque où la série «Les Trois Jeunes Détectives» a été créée, un voyage dans le temps qui nous ramènerait dans le passé est difficilement praticable dans la réalité. La population et l'économie ont connu une croissance exponentielle, le nombre de machines et d'appareils électroniques a augmenté, et la tendance est à la hausse. «Retour vers le futur», ça n'existe qu'à Hollywood.

Il est préférable d'aborder l'avenir avec le sens des réalités d'un adulte, tout en faisant preuve d'ouverture et d'inventivité. L'économie fait bien de s'intéresser à un grand nombre de développements technologiques à caractère durable. Mais les prototypes doivent être testés et les nouveaux développements analysés sur la base des faits. Il faudrait ensuite déterminer de façon neutre dans quels domaines une technologie est utilisable et dans quels domaines elle est insuffisante. De même, il faut comparer les différents systèmes énergétiques en se fondant sur les faits – sans œillères idéologiques.

### Rêveries énergétiques et autres contes pour enfants

J'avoue que j'aimerais parfois être détective. Je voudrais comprendre comment un monstre de bureaucratie peut réussir à instaurer l'efficacité énergétique tout en réduisant la consommation d'énergie du pays de rien de moins que 40%. Mais je manque d'imagination. Le fait est que l'économie a besoin été comme hiver d'un approvisionnement en électricité constant à prix abordable. Imposer de nouvelles taxes aux entreprises revient à placer sous perfusion, mais sous une perfusion empoisonnée, le site de production qu'est la Suisse. Seules les entreprises à faible intensité électrique peuvent se faire rembourser cette taxe à condition qu'elles s'engagent à atteindre des objectifs d'efficacité énergétique. Si l'on veut que l'économie suisse soit suffisamment diversifiée, il nous faut une industrie forte. C'est pourquoi il serait totalement erroné d'augmenter la RPC. En revanche, il faut créer des possibilités de remboursement pour un beaucoup plus grand nombre d'entreprises au moyen de conventions portant sur des objectifs d'efficacité. Du point de vue économique, la stratégie énergétique dans sa version actuelle est bureaucratique, onéreuse et impropre à atteindre l'objectif visé. (D.B.)

## Les prêcheurs anti-nucléaires allemands

Au travers d'un article sur la centrale nucléaire belge de Tihange, nous avons pu constater tout le professionnalisme du «Westdeutscher Rundfunk» (WDR). L'auteur, après avoir qualifié l'installation de «centrale nucléaire en piteux état» dont l'«enveloppe extérieure» présenterait des «fissures», mentionne des «fissures dans l'enveloppe de protection externe», et il est même question plus loin d'un «réacteur 2 fissuré». Avant que vous ne vous imaginiez un dôme complètement délabré, rassurez-vous: c'est l'acier de la cuve du réacteur qui serait concerné. Les riverains, eux, semblent le savoir au vu de la «sérénité surprenante» dont ils font preuve en dépit du «risque pour la sécurité». Nous apprenons sans surprise que l'expert cité dans l'article est un représentant du comité d'action anti-nucléaire d'Aix-la-Chapelle.

Et que dire lorsque même Dieter Majer, ancien directeur du Département de la sécurité nucléaire au ministère de l'Environnement allemand, déclare dans une interview réalisée par le quotidien «20 Minuten»: «Je ne comprends pas que Beznau et Mühleberg ne soient pas immédiatement déconnectés du réseau». Et la sécurité de l'approvisionnement dans tout cela? «Je ne croyais pas aux énergies alternatives, mais l'Allemagne m'a convaincu du contraire.» M. Majer botte donc en touche sur la question du charbon. Nous sommes toutefois d'accord avec lui au moins sur un point: la stratégie énergétique est une «question politique sur la-

quelle la population a autant le droit de se prononcer que les spécialistes, à plus forte raison dans un pays comme la Suisse qui possède le degré de démocratie le plus élevé qui soit.»

Nous remercions par ailleurs le quotidien gratuit d'avoir eu l'honnêteté de qualifier M. Majer de «gardien controversé du nucléaire» et d'avoir signalé la position critique de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) vis-à-vis de l'étude qu'il a réalisée sur la sécurité de Beznau et de Mühleberg. Cela n'a pas empêché plusieurs députés allemands issus de la fraction Alliance 90/Les Verts de baser une de leurs «petites questions» sur cette même étude. En 13 points tout de même, les Verts demandent ainsi au gouvernement allemand d'encourager fortement l'arrêt immédiat de la centrale nucléaire de Beznau dans le cadre de la collaboration bilatérale avec la Suisse.

De la même manière, nous demandons aujourd'hui à notre gouvernement d'intervenir auprès de Berlin et de demander l'arrêt immédiat des centrales à charbon allemandes. Certes, celles-ci ne sont pas aussi proches de la frontière que ce que l'est Beznau et sont plus récentes, ce qui est d'autant plus scandaleux, mais contrairement à n'importe quelle centrale nucléaire allemande ou suisse, leur risque pour la santé est avéré. C'est l'hôpital qui se moque de la charité! (M.Re./C.B.)

## In memoriam

### **Hommage au professeur Walter Winkler, ancien président de l'ASPEA, décédé à l'âge de 88 ans**

Né à Bâle en 1927 dans une famille modeste, Walter Winkler a su faire son chemin. Après un apprentissage de laborantin, il a tout d'abord fait des études d'ingénieur ETS. Il a ensuite obtenu un doctorat de physique à l'université de Berne, où, dans le cadre de ses activités accessoires, il enseignera plus tard la physique des réacteurs avant d'être en plus nommé professeur extraordinaire de physique expérimentale.

Walter Winkler était profondément convaincu de l'utilité du nucléaire. De ce fait, il a joué un rôle important dans le domaine de la recherche nucléaire et entretenu toute sa vie des liens avec cette dernière, notamment dans le cadre de ses fonctions de conseiller scientifique du chef de l'Etat-major général de l'armée suisse. Sur mandat des entreprises suisses BBC, Escher-Wyss et Sulzer, il a participé pendant un an au programme américain «Atoms for Peace». Cette collaboration débouchera plus tard sur la fondation de la société Reaktor AG, de l'Institut fédéral de recherche en matière de réacteurs (EIR), puis de l'Institut Paul-Scherrer (PSI), organisations dans lesquelles Walter Winkler a occupé des fonctions dirigeantes. De 1971 à 1978, il a présidé à titre accessoire l'Association suisse pour l'énergie atomique (ASPEA), qui donnera par la suite naissance au Forum nucléaire suisse. Dans l'exercice de cette fonction, il a su faire valoir pleinement ses qualités de communicateur.

Walter Winkler possédait également des talents de pédagogue: il est devenu en 1965 le directeur fondateur de l'école technique supérieure (ETS) de Brugg-

Windisch, qui est aujourd'hui intégrée dans la HES du Nord-ouest de la Suisse. Sa personnalité a marqué pendant 25 ans l'évolution de cette école d'ingénieurs. Il a également mené une carrière militaire de milice qui l'a conduit au grade de brigadier. Pendant des années, il a commandé la fameuse brigade de forteresse 23, dite brigade du Gothard.

Dès les années 1960, il a prédit l'augmentation massive de la consommation d'énergie. Il était agacé par le caractère de plus en plus idéologique et émotionnel du débat sur le nucléaire. Convaincu que le progrès technique est la clé d'un avenir décent, il jugeait plus intelligent de couvrir la demande d'énergie au moyen des nouvelles énergies renouvelables et de l'atome que de brûler des agents énergétiques fossiles.

Il nous a quittés le 2 mai 2015 à l'âge de 88 ans. (S.Ry/D.B. d'après les nécrologies parues dans la «NZZ am Sonntag» et l'«Aargauer Zeitung»)

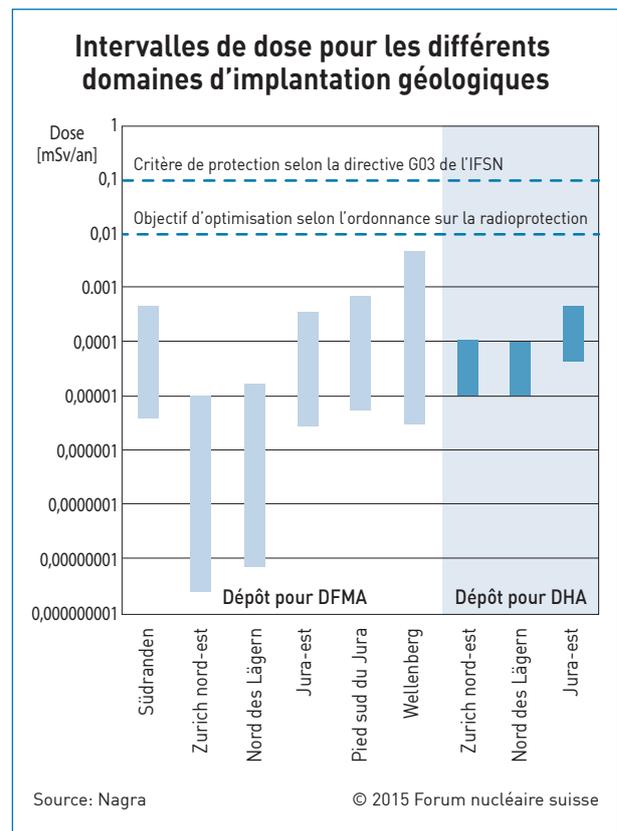
## Troisième Rencontre du Forum: «L'acceptation n'est pas un critère»

Fin janvier 2015, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a présenté les deux domaines d'implantation que la Nagra souhaite soumettre à un examen approfondi lors de l'étape 3 de la procédure du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes». Lors de la troisième Rencontre du Forum, qui s'est tenue le 1<sup>er</sup> juillet 2015 au restaurant «Au Premier» de la gare centrale de Zurich, Thomas Ernst, président de la direction de la Nagra, a fourni des informations de première main sur la démarche ayant mené au choix des domaines d'implantation «Jura-est» et «Zurich nord-est» ainsi que sur la suite de la procédure.

Devant un parterre de quelque 60 personnes, Thomas Ernst a souligné la primauté de la sûreté lors du choix du site, précisant que «l'acceptation de la région ou du canton ne figure pas parmi les treize critères retenus pour la comparaison des sites»: seuls s'appliquent les critères techniques et scientifiques fixés au préalable, ce qui exclut toute décision arbitraire (voir à ce sujet le «Bulletin» 1/2015).

En dépit de l'affinage proposé de la sélection, qui fait passer de six à deux le nombre de domaines d'implantation retenus pour la suite de la procédure, il ne faut pas oublier, comme l'a montré Thomas Ernst (voir graphique), que tous les domaines d'implantation répondent aux exigences fixées en matière de radioprotection. Les intervalles de dose ont été calculés par la Nagra sur la base des prescriptions de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) à la fois pour les déchets de faible et moyenne activité (DFMA) et pour les déchets de haute activité (DHA)<sup>1</sup>. Ces calculs montrent que tous les sites se prêtent à la construction d'un dépôt. La Nagra espère que l'expertise de l'IFSN sera disponible d'ici l'été 2016 et que le Conseil fédéral se prononcera en 2017 sur ses propositions, lançant ainsi la dernière étape de la procédure de plan sectoriel.

Lors du débat, Thomas Ernst a souligné une fois de plus que le Wellenberg entre en ligne de compte sans restriction pour le stockage de DFMA. En comparaison,



les deux autres régions d'implantation offrent cependant plus d'avantages. Il a par ailleurs montré que le droit de veto local si souvent réclamé constitue l'antithèse du principe de primauté de la sûreté. Et si la population du site le plus approprié disait non, «pourquoi celle du deuxième meilleur site devrait-elle dire oui?» (M. S. / D. B.)

<sup>1</sup> Note de la rédaction: la valeur imposée par l'IFSN est 50 fois plus basse que la dose de radiations moyenne reçue par la population suisse, applications médicales comprises (5,6 mSv/an); quant à la valeur d'optimisation fixée par l'ordonnance sur la radioprotection, elle est encore 500 fois plus faible. En dessous de cette valeur, les doses de rayonnement n'ont pas d'importance pratique, si bien qu'il est inutile de procéder à une différenciation des roches d'accueil.

## **Annonce: Cours d'approfondissement 2015 du Forum nucléaire suisse**

**17 et 18 novembre 2015, hôtel Arte, Olten**

### **Optimisation des coûts dans les centrales nucléaires: possibilités et limites dans le cadre d'une bonne culture de la sûreté**

La réglementation suisse en matière de sûreté des centrales nucléaires compte parmi les plus strictes au monde. Ni les normes qu'elle fixe, ni la culture de la sûreté ne sont négociables dans nos centrales nucléaires. Le contexte économique tendu dans lequel évolue le secteur de l'énergie impose toutefois l'adoption de mesures ciblées afin de réduire les coûts de production. Dans une situation aussi complexe sur les plans tant économique et politique que réglementaire, on ne peut trouver la bonne voie que si tous les acteurs concernés – collaborateurs des centrales, fournisseurs, milieux de l'enseignement et de la recherche – apportent leur contribution. Les cadres doivent être encore mieux à même de fixer les bonnes priorités sur la base de leur expérience et de leur savoir-faire, et de convaincre leurs collaborateurs de suivre de nouvelles pistes. Ils doivent savoir motiver ces derniers, afin que chacun puisse exprimer ses idées et analyser d'un œil critique les processus établis. Les offres de formations complémentaires et continues, de même que la recherche – elle-même soumise à des restrictions budgétaires – doivent tenir compte de ces impératifs.

Le cours d'approfondissement 2015 portera sur ces différents thèmes. Après une introduction consacrée au cadre politico-économique, on analysera les possibilités d'optimisation existant sur les plans opérationnel et technique. Il sera question non seulement du rôle des collaborateurs dans la réduction des coûts de production, mais aussi des conditions organisationnelles que requiert l'optimisation des coûts dans les centrales nucléaires. Enfin, compte tenu de la pression qui pèse sur ces derniers, on se posera la question de savoir quelles mesures sont en phase avec l'objectif de l'exploitation à long terme.

Le cours d'approfondissement s'adresse aux collaborateurs des centrales nucléaires et de leurs fournisseurs, aux représentants des autorités, aux spécialistes de la politique énergétique ainsi qu'aux étudiants et aux assistants des universités techniques et des hautes écoles spécialisées. (S. Ry. / D. B.)

Vous trouverez de plus amples informations sur:  
[www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015](http://www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015)

## Prochaine Rencontre du Forum: le 8 octobre à 17h10

La quatrième Rencontre du Forum de l'année 2015 sera consacrée au lien entre leucémie infantile et centrales nucléaires. Le professeur Felix Niggli, responsable du service d'oncologie pédiatrique à l'Hôpital universitaire de Zurich, et le docteur Jürg Schädelin, ancien responsable de recherche chez Novartis, interviendront sur le sujet. La manifestation se déroulera au restaurant Au Premier, dans la gare centrale de Zurich, et les exposés seront suivis d'un apéritif.

[www.nuklearforum.ch/fr/4e-rencontre-du-forum](http://www.nuklearforum.ch/fr/4e-rencontre-du-forum)

## Cours d'approfondissement du Forum nucléaire suisse

«Optimisation des coûts dans les centrales nucléaires: possibilités et limites dans le cadre d'une culture solide de la sûreté»

17 et 18 novembre 2015  
Centre de congrès Arte, Olten

[www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015](http://www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015)

## Séminaire de perfectionnement de la SOSIN

La Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN) organisera un séminaire de perfectionnement le 11 novembre 2015 au Centre de Formation du PSI sur le thème: «Ce que vous avez toujours voulu savoir sur la radioactivité et le rayonnement».

[www.kernfachleute.ch](http://www.kernfachleute.ch)



Photo: SGK

## Apéritif de la SOSIN

Le prochain apéritif de la SOSIN aura lieu le 3 novembre 2015 au Conference Center d'Olten.

[www.kernfachleute.ch](http://www.kernfachleute.ch)

## Le Forum nucléaire sur Twitter

Le Forum nucléaire exploite son propre canal sur Twitter. Ce dernier permet d'accéder aux nouvelles les plus récentes de l'E-Bulletin et aux derniers tweets. Les listes de twitteurs vous fourniront un accès direct à tous les twitteurs de la branche nucléaire dans le monde. La liste «Nuclear News» publiée, par exemple, tous les tweets des principaux portails d'informations anglophones de la branche nucléaire. Si vous êtes titulaire d'un compte Twitter, il vous suffira d'un clic pour vous y abonner.

[www.twitter.com/kernenergienews](http://www.twitter.com/kernenergienews)

## Exposition spéciale de la Nagra

### Time-Ride – un voyage spectaculaire au centre de la Terre

L'exposition informe sur le concept d'évacuation des déchets radioactifs.

Olma, Saint-Gall: du 8 au 18 octobre 2015

[www.timeride.ch](http://www.timeride.ch)



Photo: Nagra / Comet Phoshopping GmbH / Dieter Enz