

Bulletin 4

Décembre 2015

Comment produire de l'électricité à partir de déchets nucléaires?

Page 8



Le point de vue de notre
ministre de l'Énergie
Page 3

EAU: les défis d'un
pays entrant
Page 4

Le cours d'approfondisse-
ment 2015 consacré à
l'optimisation des coûts
Page 33

Table des matières

Editorial	3	Reflets de l'E-Bulletin	25
Pas d'interdiction technologique ni d'interdiction conceptuelle	3	En Suisse	25
		A l'étranger	25
Forum	4	La der économique	29
Emirats arabes unis: les enseignements d'une jeune autorité de sûreté nucléaire	4	Les élections 2015, un bilan intermédiaire	29
Informations de fond	8	Couac!	31
Le réacteur mangeur de déchets nucléaires	8	De l'argent bien investi?	31
«Les phénomènes survenus à Fukushima n'étaient pas nouveaux»	12	Nouvelles internes	32
C'est la dose qui fait le poison	16	Guerre idéologique autour de la leucémie: corrélation ou causalité?	32
Revue de presse	22	Cours d'approfondissement 2015: optimisation des coûts dans le cadre d'une culture solide de la sûreté	33
Le nucléaire au Conseil des Etats et dans le contexte de la campagne électorale	22	Pour mémoire	36

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 Rychar (S.Ry); Michael Schorer (M.S.)

Traduction:

Claire Baechel (C.B.); Dominique Berthet (D.B.);

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: Forum nucléaire suisse

Doris Leuthard, conseillère fédérale

Cheffe du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)



Photo: Marc Wetti

Pas d'interdiction technologique ni d'interdiction conceptuelle

Pendant longtemps, l'énergie nucléaire a constitué une excellente source d'énergie de bande: fiable, respectueuse du climat, économique. Mais aujourd'hui, quiconque veut construire une nouvelle centrale nucléaire doit s'attendre à des coûts nettement plus élevés. En témoignent les correctifs de valeur de plusieurs milliards apportés en Finlande, de même que l'exemple de la Grande-Bretagne, où l'on ne construit plus qu'avec le cautionnement de l'Etat et moyennant des prix de reprise en grande partie garantis. Selon les estimations de l'AIE, la part du nucléaire dans la production mondiale d'énergie devrait se stabiliser autour de 6% à l'horizon 2040. La part du renouvelable, en revanche, pourrait passer à 19%.

Le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé de ne plus construire de nouvelles centrales nucléaires dans le pays densément peuplé qu'est la Suisse. En raison, premièrement, des coûts de production, deuxièmement, du risque résiduel et, troisièmement, du fait que le problème des déchets n'est toujours pas résolu, même au bout de 40 ans. Les coûts de désaffectation des installations et de gestion des déchets, calculés sur une durée de vie de 50 ans, sont pour leur part constamment adaptés aux dernières estimations et devraient donc, le moment venu, pouvoir être couverts par les exploitants.

Suite à une décision entrepreneuriale du Conseil d'administration de BKW SA, la centrale nucléaire de Mühleberg sera déconnectée du réseau en 2019. Beznau 1 connaît actuellement des problèmes et l'on verra s'il vaut la peine de procéder à des rééquipements. Il apparaît que cette centrale, comme bien d'autres installations, est durement touchée par le contexte de prix et ses effets sur la rentabilité de la production. Ce n'est pas une situation facile pour les exploitants. Il n'en demeure pas moins que le Conseil fédéral souhaite toujours éviter de limiter la durée d'exploitation des centrales. Il préfère exiger que la sûreté des installations soit garantie en permanence.

Contrairement à des critiques exprimées de façon récurrente, la nouvelle loi ne contient ni interdiction technologique ni interdiction conceptuelle. La Suisse continuera de s'engager dans la recherche nucléaire menée aux plans national et international. La technologie nucléaire doit continuer d'être soutenue. Notamment parce que

nous avons besoin de spécialistes compétents pour assurer l'exploitation, le démantèlement et la désaffectation des centrales ainsi que la gestion des déchets. Si la recherche devait un jour déboucher sur la mise au point d'une technologie nucléaire améliorée, qui soit capable de produire de l'électricité à des prix compétitifs, avec des risques moindres et sans aggraver le problème des déchets, on examinerait certainement avec bienveillance ce genre d'innovation. Car, en définitive, le but est d'assurer la sécurité d'approvisionnement en électricité de notre pays.

Aujourd'hui, nous parlons cependant de l'avenir proche. Il est de notre devoir de montrer la voie vers un approvisionnement en énergie sûr, économique et durable en Suisse. C'est ce que nous faisons avec la Stratégie énergétique 2050: réduction de la consommation d'énergie, diminution des importations et donc de la dépendance envers l'étranger, diminution des énergies fossiles et augmentation de l'efficacité et du renouvelable. Etant donné les surcapacités actuelles du marché européen de l'électricité et le bas niveau des prix de l'électricité ainsi que, pour l'heure, des produits pétroliers et du charbon, la branche est fortement mise sous pression. La stratégie énergétique se révèle plus que jamais juste et nécessaire, alors que le scénario «Poursuite de la politique actuelle» aggrave les problèmes. En effet, les réformes garantissent des investissements en Suisse, renforcent la sécurité d'approvisionnement et soutiennent la restructuration de notre approvisionnement énergétique. L'encouragement des énergies renouvelables est un point litigieux. La loi prévoit actuellement 1,5 ct./kWh à cette fin. Il est prévu de porter ce montant à 2,3 ct./kWh au plus, et d'y inclure un soutien aux installations hydrauliques existantes. Ces aides sont –comme il se doit– limitées dans le temps. La production indigène le vaut bien, nous devrions en convenir.

Nombre de communes, d'entreprises, de citoyens et de citoyennes, de même que les milieux scientifiques n'ont pas attendu l'adoption définitive de décisions politiques pour agir. Avec ses technologies et son potentiel en matière de force hydraulique et de nouvelles énergies renouvelables, la Suisse est en bonne position pour apporter, grâce à cette politique, une contribution essentielle à la lutte contre les changements climatiques. (Traduction: D.B.)

Interview de Christer Viktorsson

Directeur général de la Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR)



Emirats arabes unis: les enseignements d'une jeune autorité de sûreté nucléaire

Christer Viktorsson, directeur de la Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR), l'autorité de sûreté nucléaire des Emirats arabes unis (EAU), a présenté à l'agence internationale d'information sur le nucléaire NucNet les défis liés à la création d'une autorité de sûreté nucléaire, dans un pays où aucune centrale nucléaire n'avait encore jamais été construite.

Quels ont été les principaux défis associés à la création et au fonctionnement d'une autorité de sûreté nucléaire compte tenu des circonstances, à savoir que les EAU sont un pays entrant dans le nucléaire, dans lequel aucun réacteur n'avait encore jamais été construit?

Créer une autorité de sûreté nucléaire dans un nouveau contexte constitue effectivement un défi. Les EAU ne possédaient aucune expérience dans le domaine de l'énergie nucléaire. Mais lorsque je suis arrivé à la FANR, en 2008, le gouvernement avait saisi la portée d'un tel projet et s'y était préparé. Un Livre blanc sur l'énergie nucléaire avait été adopté. La feuille de route décrivait en détail les grandes étapes du programme nucléaire du pays. Le gouvernement s'était appuyé sur les directives de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), destinées aux pays entrants. Une procédure de consultation associant aussi bien des groupes d'intérêt nationaux qu'internationaux a été organisée avant que la réglementation correspondante ne soit mise sur pied. Personnellement, la principale leçon que je tire de cette expérience est qu'un pays qui souhaite mettre en place un programme nucléaire doit impérativement se doter de directives claires. Chez nous, cela concerne les principes généraux à appliquer mais aussi la transparence, qui revêt une grande importance. Nous nous sommes également efforcés d'adopter les normes les plus élevées en matière de sécurité, de sûreté et de garanties dans le cadre de la construction de l'infrastructure requise, en collaboration avec l'AIEA. Le fait de dispo-

ser de directives claires nous a été d'une grande aide, car nous pouvions à tout moment nous appuyer dessus si un point devait être clarifié.

Il a probablement été nécessaire d'augmenter rapidement et de manière efficace le nombre de spécialistes. De quelle manière avez-vous procédé?

Il s'agissait effectivement d'un des premiers défis à relever, mais nous avons pu bénéficier du soutien d'experts internationaux issus de différents pays. Ces derniers nous ont aidés à mettre sur pied la FANR. Nous avons dans un premier temps engagé des personnes dirigeantes qui se sont chargées de recruter des experts de toutes nationalités. Nous devons être en mesure de délivrer rapidement une autorisation pour une centrale, mais également de structurer le programme de manière durable.

Il était important pour nous dès le départ d'embaucher des personnes locales. Mais le travail de développement était colossal et le nombre d'ingénieurs nucléaires possédant les connaissances requises insuffisant. Nous avons donc dû former du personnel. Pour cette raison, nous avons souhaité développer les possibilités de formation dans la branche nucléaire. L'Université de Khalifa, située à Abou Dhabi, a récemment ouvert une filière d'ingénieurs nucléaires. Nous avons également envoyé des jeunes à l'étranger pour qu'ils se forment. Nos efforts ont payé: près de 60% des employés sont originaires du pays. →



A l'occasion de la visite du directeur général de l'AIEA, Yukiya Amano, aux Emirats arabes unis, Mohamed Al Hammadi (à droite), CEO de l'Emirates Nuclear Energy Corporation (Enec), a présenté l'avancement de la construction de Barakah 1. L'AIEA soutient depuis le début, en 2008, le programme nucléaire mené dans le pays.

Photo: Enec

Avez-vous commis des erreurs dont vous avez par la suite tiré des enseignements?

Je ne dirais pas que nous avons «commis des erreurs» au sens propre, mais nous avons effectivement tiré de nombreux enseignements. Peu de temps après la création de la FANR, nous avons dû nous atteler à la réglementation. Nous avons commencé par le plus urgent, à savoir les prescriptions spécifiques aux sites, car nous savions que notre première tâche serait de délivrer une autorisation de site. Or les documents devaient être rédigés en arabe, et cela a représenté un problème car aucune terminologie nucléaire n'existe dans cette langue. Nous nous sommes tournés vers l'AIEA étant donné que celle-ci possède un glossaire technique dans plusieurs langues. Nous avons également dû mettre en place une équipe de traducteurs interne. Ces expériences pourraient être utiles à d'autres pays arabes souhaitant lancer un programme nucléaire.

Nous avons ensuite constaté que créer de pied en cap une autorité nucléaire prendrait du temps. Mais nous étions optimistes. Là encore, nous avons concentré nos efforts sur les textes réglementaires qui nous permettraient de délivrer des autorisations. Nous avons

certes sollicité l'aide d'experts internationaux, mais nous n'avions pas suffisamment pris en compte l'«émiratization» de l'ensemble du projet. Aujourd'hui, nous accordons davantage de moyens à la formation et à l'accompagnement de nos collaborateurs locaux, et je reste optimiste sur notre capacité à développer rapidement des compétences spécialisées dans le pays. Nous avons sous-estimé également l'importance d'entretenir une bonne collaboration avec d'autres décideurs du pays. Je fais référence notamment aux autorités douanières et aux forces de sécurité. La collaboration avec ces premières a été capitale dans le cadre des opérations d'importation et d'exportation de biens et d'équipements nucléaires.

Comment les habitants des Emirats arabes unis ont-ils réagi concernant le programme nucléaire? Ont-ils émis des réserves sur le plan de la sécurité, notamment suite à l'accident de réacteur de Fukushima-Daiichi?

Globalement, la population soutient le programme. L'Emirates Nuclear Energy Corporation (Enec) réalise régulièrement des enquêtes. Juste après Fukushima,

le soutien au programme a certes diminué, mais cela n'a pas duré. Un important dispositif de relations publiques est en place. Celui-ci fait l'objet d'investissements d'envergure de la part de la FANR, et encore plus de l'Enec. Il a pour objectif d'expliquer les efforts que nous fournissons afin de garantir une construction et un fonctionnement sûrs des installations. La FANR organise des séminaires publics dans les sept émirats, au cours desquels sont traitées les questions en lien avec l'énergie nucléaire de manière générale, la sûreté et la sécurité, le rôle de l'AIEA, la gestion des déchets, ou encore la planification des mesures d'urgence. L'ambiance est bonne. On nous interroge également sur les impacts qu'ont eu pour nous les événements à Fukushima. Nous expliquons que nous avons réalisé des tests de résistance selon les normes européennes, et que l'Enec a procédé à certaines adaptations de conception.

Portrait de Christer Viktorsson

Christer Viktorsson a été nommé directeur général de la Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR) des EAU le 1^{er} juin 2015. Il a la double nationalité suédoise et finlandaise, et possède une expérience de 35 ans dans les domaines de la réglementation et de la sécurité nucléaire. Avant cela, il a dirigé les activités opérationnelles de la FANR depuis sa création en 2008 jusqu'en 2013 en tant que directeur général adjoint.

M. Viktorsson a étudié à l'Abo Akademi University, en Finlande. Il a ensuite travaillé trois ans dans le domaine de la recherche nucléaire et de la production de radio-isotopes destinés au secteur médical. Après six années passées à l'autorité suédoise de radioprotection, il a été nommé directeur général adjoint de l'autorité suédoise de sûreté nucléaire en 1995, et a dirigé durant dix ans la surveillance de l'industrie nucléaire du pays.

M. Viktorsson a commencé sa carrière internationale en 1987, à l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE, à Paris, où il s'est consacré durant six ans au développement de la collaboration internationale dans le domaine de la radioprotection et de la protection d'urgence en cas d'accident nucléaire. De 2005 à 2008, M. Viktorsson a travaillé à l'AIEA, à Vienne, où il était responsable des thèmes politiques pour la section Sécurité et sûreté nucléaire.

En mars 2015, l'AIEA a expliqué que le regroupement des centrales d'urgence qui interviennent dans le cadre de mesures sur site et hors site était une spécificité du programme de protection en cas d'urgence nucléaire des EAU, et que celui-ci devait être accessible à l'ensemble de la communauté internationale. Pourriez-vous nous en dire plus?

La protection en cas d'urgence dans le domaine nucléaire constitue un défi pour tous les pays, et notamment pour les pays qui entrent dans le nucléaire. Nous avons développé les structures d'urgence existantes en intégrant les éléments spécifiques au secteur nucléaire. Cela a concerné notamment la construction du centre dédié aux situations d'urgence sur site et hors site d'Al Ruwais, à 50 km à l'est de Barakah. Celui-ci est sur le point d'être achevé, il s'étend sur trois étages. Un laboratoire environnemental dernier cri a été construit à côté. En février 2016, nous procéderons au premier exercice national de protection en cas d'urgence, et nous présenterons les résultats obtenus. Nous avons déjà communiqué aux Etats membres de l'AIEA les expériences acquises dans le cadre de l'Emergency Preparedness Review (EPREV) et de la construction de l'installation d'Al Ruwais.

Vous avez récemment prolongé un accord avec l'autorité de sûreté nucléaire américaine (Nuclear Regulatory Commission, NRC), qui porte sur la collaboration dans le domaine de la sécurité nucléaire. Pourriez-vous nous donner des exemples de ce qui a déjà été mis en place dans le cadre de cet accord, et de projets futurs?

La collaboration avec les autres pays s'inscrit comme l'un des grands principes du Livre blanc du gouvernement. Dans cette logique, nous avons prolongé l'accord conclu avec la NRC à l'issue des cinq premières années de collaboration. Au cours de cette période, nous avons échangé des informations relatives au type de réacteur qui doit être homologué, l'APR. Celui-ci a été développé aux Etats-Unis et a obtenu une première homologation de la part de la NRC. Les travaux ont ensuite été poursuivis en Corée du Sud, avec laquelle nous avons conclu un accord similaire. Grâce à l'accord avec la NRC, nous avons pu prendre part à de nombreuses réunions et conférences. Nous avons participé à la définition de points de référence pour le développement des capacités et la gestion du savoir-faire dans le domaine de la communication internationale des activités des autorités. Certains de nos spécialistes ont travaillé à la NRC, notamment dans les domaines de la sécurité nucléaire et de la radioprotection. Nous utilisons des codes informatiques de la NRC pour l'alerte en cas d'accident grave et pour l'analyse des accidents. →



Fin décembre 2009, l'Emirates Nuclear Energy Corporation (Enec) et Korea Electric Power Corporation (Kepco) ont signé un contrat portant sur la planification, la livraison et la construction de quatre réacteurs à eau sous pression du type sud-coréen APR-1400 sur le site de Barakah. D'après Kepco, il s'agit de la première exportation de ce type de réacteur. Les quatre installations prévues sont désormais en construction depuis septembre 2015.

Photo: Enec

Vous avez également conclu il y a peu de temps un accord avec le Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) afin d'encourager la collaboration dans le domaine de la sécurité nucléaire pour les réacteurs à eau légère. Pourriez-vous nous présenter quelques étapes pratiques de cet accord?

Nous avons conclu cet accord avec le KAERI car celui-ci mène un programme de recherche dédié à l'APR-1400, qui couvre plusieurs domaines importants, notamment la thermohydraulique, la gestion des accidents graves, et le contrôle-commande. Nous souhaiterions profiter de ces expériences et peut être, nous l'espérons, lancer des travaux de recherche dans leurs structures. La collaboration est cependant à ses débuts, mais elle se développe petit à petit. Par le passé, nous avons déjà collaboré avec d'autres organisations sud-coréennes, telles que le Korea Institute of Nuclear Safety et le Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Avez-vous également conclu des accords avec des pays de l'UE? Où en est la collaboration avec l'Europe?

Plusieurs accords ont déjà été conclus avec des pays européens, notamment une déclaration d'intention avec l'Autorité française de sûreté nucléaire (ASN) ainsi qu'un accord de recherche avec l'Institut français de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Un accord de collaboration avec les autorités britanniques est également en vigueur, de même qu'avec les autorités finlandaises. Par ailleurs, nous menons des discussions avec la Commission européenne car nous nous intéressons à la manière donc les Etats de l'UE collaborent dans le domaine de la protection en cas d'urgence. (M.Re./C.B. d'après NucNet, Insider Nr. 19 du 9 novembre 2015, et un communiqué de presse d'Utilities du 2 juin 2015)

Le réacteur mangeur de déchets nucléaires

Les déchets de cuisine sont valorisés dans des installations de biogaz. La chaleur issue de l'incinération des ordures ménagères est utilisée pour produire de l'électricité ou pour alimenter des réseaux de chauffage à distance. Tous les déchets ne sont pas simplement des déchets. Il en va de même du combustible usé des centrales nucléaires. Pour Leslie Dewan, CEO de la startup américaine Transatomic Power Corporation (TAP), ce dernier est tout sauf un résidu ultime. Avec son équipe, la jeune ingénieure nucléaire développe actuellement un «réacteur mangeur de déchets nucléaires». Le 10 novembre 2015, elle a présenté son projet à un public intéressé dans le cadre d'une manifestation qui s'est tenue au restaurant Au Premier de Zurich à l'initiative des organisations Energy for Humanity et energiesuisse.

Leslie Dewan décrit le potentiel de son concept de réacteur à sels liquides en expliquant qu'avec le combustible usé des centrales nucléaires accumulé à ce jour, on pourrait couvrir les besoins mondiaux en électricité pendant 70 ans. L'idée de faire fonctionner des réacteurs au moyen de sels liquides n'est pas nouvelle, on

le sait. Aux Etats-Unis, des tests portant sur des réacteurs à sels fondus (Molten Salt Reactors, MSR) avaient déjà été effectués au milieu du siècle dernier. La Molten Salt Reactor Experiment (MSRE) menée à l'Oak Ridge National Laboratory (ORNL) compte parmi ces projets pionniers (voir le Bulletin 6/2013, rubrique Informations de fond). Les MSR figurent aujourd'hui sur la liste des réacteurs de quatrième génération.

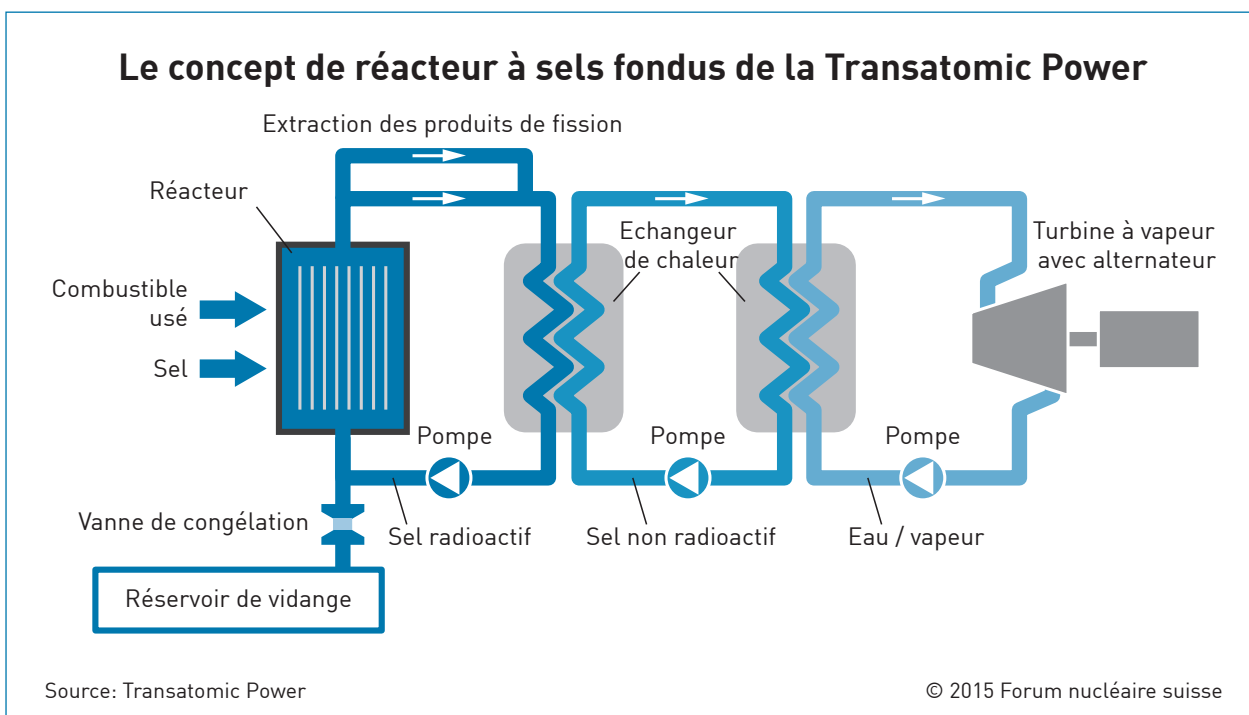


Leslie Dewan est depuis 2011 CEO de la Transatomic Power Corporation (TAP), une startup américaine sise à Cambridge, Massachusetts. Elle a obtenu son doctorat en génie nucléaire au Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 2013. En 2012, elle a été sélectionnée par le magazine Forbes pour figurer dans le classement des «30 Under 30» pour le secteur de l'énergie. En septembre 2013, la «MIT Technology Review» l'a citée parmi les «35 Innovators Under 35». En décembre 2013, elle a été mise à l'honneur par le «Time Magazine», qui l'a inscrite dans sa liste des «30 People Under 30 Changing the World».

Comme l'explique Leslie Dewan, le concept de réacteur de la TAP s'appuie à maints égards sur ces premières expériences. Les mécanismes de sûreté passive (vanne de congélation), les procédés chimiques (bullage à l'hélium) et les matériaux (alliage Hastelloy-N modifié) prévus par ce concept sont similaires. La première grande différence par rapport aux concepts précédents est que la TAP utilise de l'hydrure de zirconium plutôt que du graphite comme modérateur. De bonnes expériences ont été réalisées par le passé avec cette substance. Elle freine plus efficacement les neutrons et permet donc des tailles plus compactes. La deuxième grande différence est que la TAP mise sur le fluorure de lithium comme sel porteur dans lequel le tétrafluorure d'uranium est dissous. La grande majorité des MSR conçus par le passé utilisaient un mélange de sels de fluorure de lithium et de fluorure de béryllium qui ne pouvait absorber qu'une quantité limitée de fluorure d'uranium.

Utilisation efficace du combustible

Grâce aux interactions entre le modérateur et le type de sel choisis, on peut utiliser du combustible enrichi à seulement 1,8% d'U-235. Ainsi le réacteur de la TAP peut produire de l'électricité avec du combustible déjà



utilisé dans des réacteurs à eau légère. Il travaille principalement en spectre de neutrons thermiques, mais contient une part suffisamment importante de neutrons épithermiques et de neutrons rapides pour pouvoir fissionner les actinides. Ainsi, les ingénieurs de la TAP réussissent à tirer 75 fois plus d'énergie du combustible que les réacteurs à eau légère.

Moins de déchets

Un réacteur à eau légère d'une puissance électrique nette de 520 MW contient environ 40 t de combustible et génère chaque année 10 t de combustible usé contenant des isotopes radioactifs ayant une demi-vie de plus de 100'000 ans. Pour déclencher la réaction dans un réacteur TAP, on utiliserait 65 t d'actinides dissous dans le sel. Un tel réacteur produirait chaque année environ une demi-tonne de produits de fission qui seraient extraits du sel par filtrage et remplacés par du nouveau combustible. Le nouveau combustible peut être ajouté en continu, mais il ne doit pas forcément l'être: une alimentation cyclique est possible. Le réacteur TAP ne produirait que 500 kg de déchets par année, au lieu de 10 t, c'est-à-dire 95% de moins qu'un réacteur à eau légère. La plus grande partie des iso-

topes contenus dans ces déchets auraient une demi-vie de quelques centaines d'années au plus. Il ne faudrait trouver de solution à long terme que pour un petit reste d'environ 20 kg par an.

Construction d'une centrale nucléaire TAP de 520 MW

La TAP a mené une étude de concept en collaboration avec une entreprise de génie nucléaire expérimentée en vue de mettre au point la conception d'une tranche nucléaire d'une puissance électrique de 520 MW équipée de trois boucles de refroidissement. La cuve du réacteur et les pompes primaires se trouvent dans le circuit primaire. Un circuit intermédiaire parcouru par un sel liquide non radioactif permet de transmettre la chaleur produite dans le réacteur à un circuit eau-vapeur conventionnel.

La température de sortie du réacteur est d'environ 650°C. Dans les réacteurs à eau sous pression, cette valeur est de 325°C environ. Ainsi, selon les calculs de la TAP, une tranche nucléaire TAP équipée d'un groupe turbo-alternateur conventionnel atteindrait un rendement thermique de 44%. Cette efficacité élevée par

rapport aux centrales nucléaires actuelles permet, toujours selon la TAP, des économies directes de coûts par l'utilisation de turbines plus petites (ces dernières sont un facteur de coûts important dans une centrale nucléaire).

Le combustible, solide ou liquide?

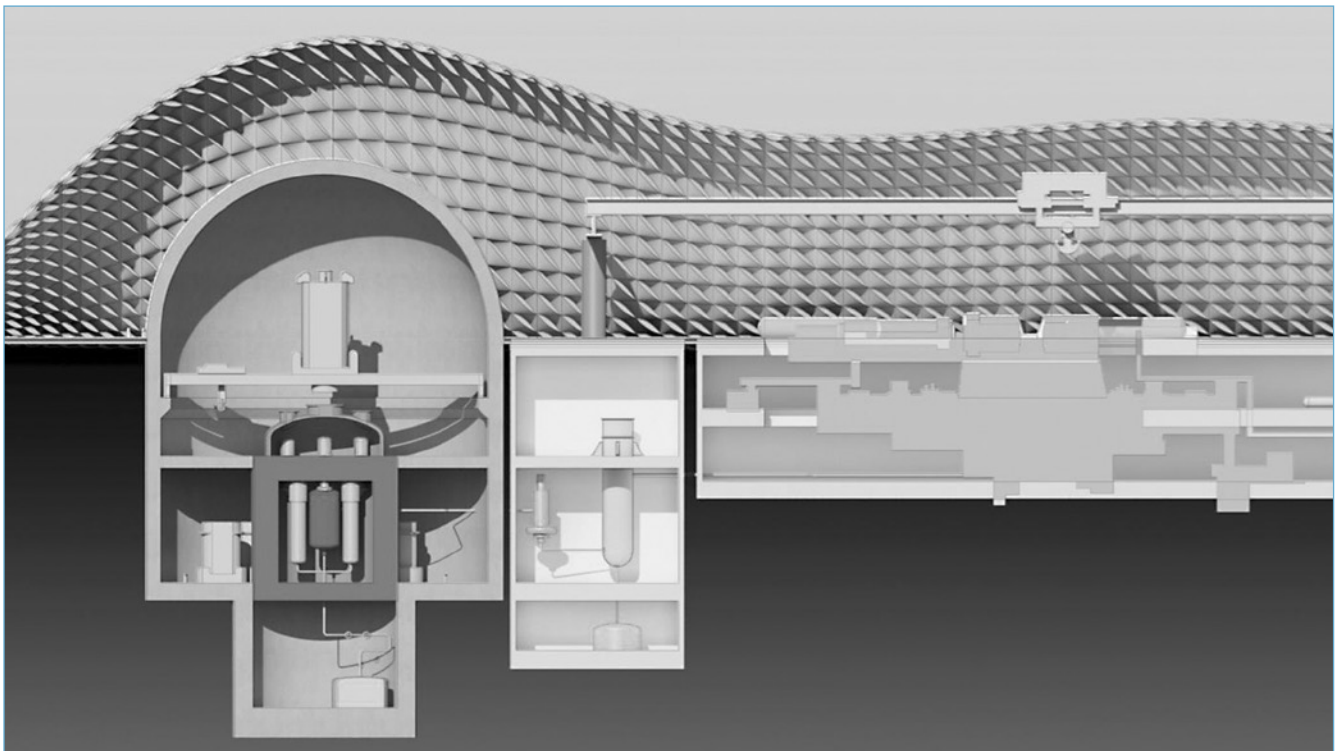
Aujourd'hui, la quasi-totalité des centrales nucléaires commerciales utilisent comme combustible des pastilles d'oxyde d'uranium enfermées dans des gaines. L'oxyde d'uranium étant mauvais conducteur de chaleur, la température maximale à l'intérieur de ces pastilles atteint quelque 2000°C en exploitation normale. Les réacteurs à combustible liquide n'atteignent pas des températures aussi élevées. D'un autre côté, ils autorisent des températures plus élevées en sortie de réacteur puisque combustible et caloporteur ne sont qu'un seul et même fluide.

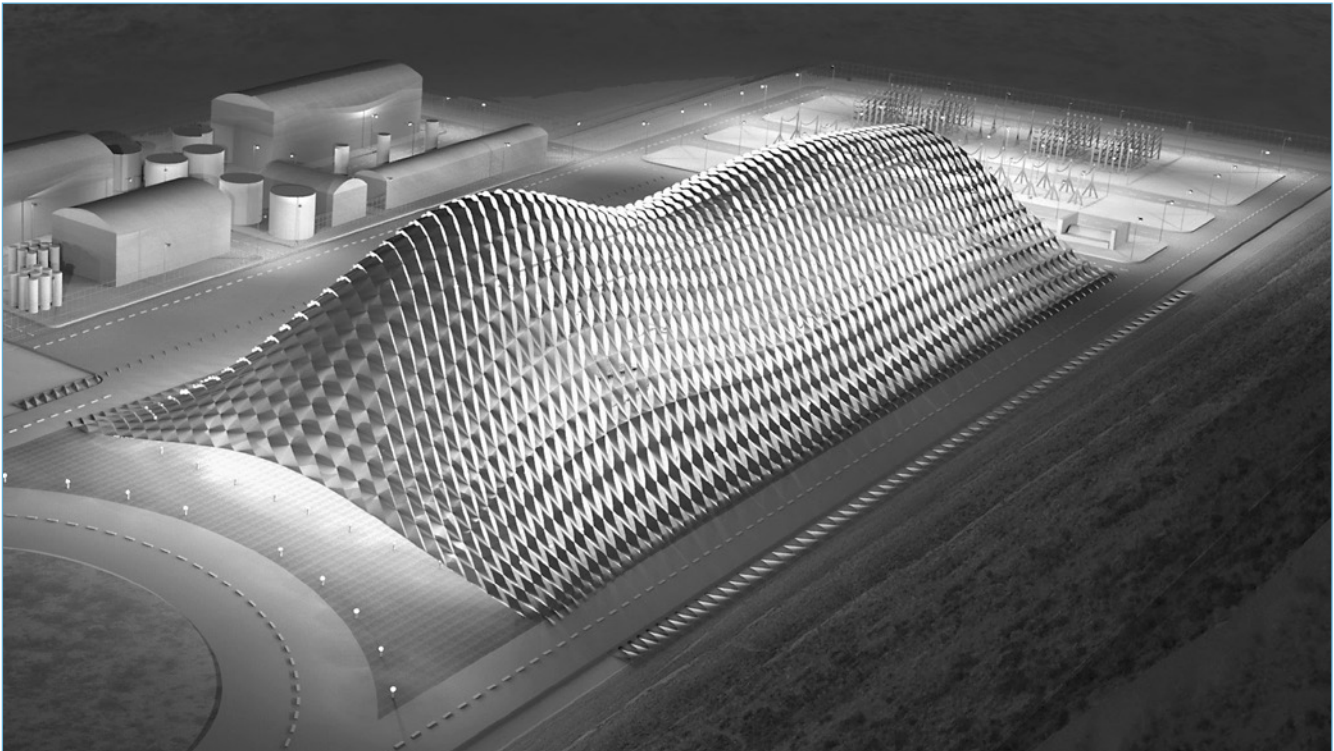
Sûreté

L'un des grands avantages du combustible liquide est que la puissance résiduelle est répartie dans le sel. Le combustible liquide n'est pas soumis à une surpression et peut en cas d'urgence être relâché, via une vanne de sécurité, dans un réservoir de vidange spécifiquement conçu à cet effet. Pour le MSRE, les ingénieurs ont testé de manière répétée et avec succès des vannes d'arrêt passives (vannes de congélation), dans lesquelles du sel est maintenu électriquement à une température inférieure à son point de fusion, qui est d'environ 500°C. En cas de perte de l'alimentation électrique de la vanne, ce bouchon de sel fond, et le sel contenu dans la cuve s'écoule dans le réservoir de vidange situé sous cette dernière. La réaction en chaîne s'arrête alors en raison de la géométrie et de l'absence de modérateur dans le réservoir. Les vannes de congélation ont encore un autre avantage: le sel servant de bouchon se met à

Image en coupe, générée par ordinateur, d'une tranche nucléaire de la Transatomic Power. L'enveloppe ondulée sert à protéger l'installation des impacts externes.

Photo: TAP





Une tranche nucléaire de Transatomic Power pourrait être construite à côté d'une centrale nucléaire existante.

Photo: TAP

fondre si la température du sel du circuit primaire dépasse la température d'exploitation maximale (700°C).

Les calculs de la TAP montrent que, dans le réservoir de vidange, la puissance résiduelle est suffisamment basse pour pouvoir être évacuée par la convection naturelle. Avec l'aide d'un système de refroidissement passif, le sel devrait pouvoir se solidifier entièrement en un laps de temps compris entre une heure et demie et trois heures.

De l'uranium plutôt que du thorium

Les réacteurs à sels fondus sont très polyvalents en matière de combustible. Bien que l'utilisation de thorium soit possible dans le réacteur TAP, les ingénieurs ont opté pour un cycle à l'uranium car la chaîne d'approvisionnement nécessaire existe déjà.

nieurs ont opté pour un cycle à l'uranium car la chaîne d'approvisionnement nécessaire existe déjà.

Etat de développement

La TAP effectue actuellement différents tests de composants, indique Leslie Dewan. L'entreprise prévoit de construire un prototype de 20 MW de puissance thermique à l'Idaho National Laboratory. L'objectif est de concevoir une tranche nucléaire d'une puissance électrique nette de 520 MW capable de produire du courant pour l'équivalent de 3 ct./kWh. Les coûts de construction sont estimés à 2 milliards de francs, et la durée du chantier à trois ans. (M.B./D.B., d'après Transatomic, Technical White Paper, mars 2014, et la présentation du 10 novembre 2015)

«Les phénomènes survenus à Fukushima n'étaient pas nouveaux»

Quelles répercussions la volte-face du monde politique suisse après l'accident de Fukushima-Daiichi a-t-elle eues sur l'enseignement et la recherche dans le domaine du nucléaire? Le professeur Horst-Michael Prasser, titulaire de la chaire «Systèmes nucléaires» à l'ETH Zurich, prend position. En sa qualité de coresponsable du master en génie nucléaire des EPF et du laboratoire de thermohydraulique de l'Institut Paul-Scherrer (PSI), il nous livre une analyse de première main des évolutions en cours.

«J'aimerais tout d'abord dire une chose: rien n'a fondamentalement changé après Fukushima et les bouleversements que cet accident a provoqués sur le plan politique», souligne Horst-Michael Prasser. L'enseignement repose sur un tronc commun constitué de la physique des réacteurs, du génie et de la sécurité électriques, et de la science des matériaux nucléaires. L'offre de cours n'est toutefois pas figée. Ainsi, un cours sur le démantèlement des centrales nucléaires a entre-temps été intégré au programme du master, mais cela aurait été le cas même sans Fukushima. «D'un autre côté, les étudiants sont depuis toujours très intéressés par les développements intervenant dans le domaine de la Génération IV. Nous renforçons donc un peu cet aspect dans l'enseignement, sans cesser de mettre l'accent sur les réacteurs à eau légère», précise le professeur Prasser.

«Dans la recherche, la sûreté des installations existantes est et reste un important domaine de travail», souligne Horst-Michael Prasser. En la matière, l'acteur principal au PSI est le département Energie nucléaire et sûreté (NES). Ses recherches portent actuellement sur certains aspects de la sûreté à long terme, par exemple le vieillissement des matériaux structurels, la fatigue thermique (qui a déjà provoqué des fuites de réfrigérant) ou l'effet de l'hydrogène sur la résistance des gaines de combustible. Le NES procède par ailleurs à des analyses approfondies du déroulement et de la gestion des incidents en vue de limiter les impacts des accidents potentiellement graves. A cela s'ajoute la recherche fondamentale sur les systèmes de barrières dans les roches d'accueil de dépôts en couches géologiques profondes.

Fukushima confirme le bien-fondé du système suisse de prévention

Si l'accident nucléaire de Fukushima a profondément bouleversé la politique énergétique suisse, il n'amène que graduellement de nouvelles tendances en matière

de recherche. «Il faut le dire clairement, souligne le professeur Prasser, la recherche sur les accidents graves, tout comme l'état de rééquipement des centrales nucléaires suisses, avait déjà atteint un niveau élevé avant la catastrophe de Fukushima. Les phénomènes qui se sont produits là-bas n'étaient pas nouveaux. Ils sont tout à fait prédictibles au moyen des modèles informatiques actuels.»

Ce fait a été confirmé lors de l'analyse a posteriori de l'accident. Le PSI procède actuellement à une sorte d'autopsie de la catastrophe dans le cadre du «Fukushima Benchmark Project». En vertu de la répartition des tâches décidée au plan international, l'institut est en charge de la troisième tranche de la centrale¹. «Nous effectuons des calculs variationnels pour comprendre les quelques mesures ayant encore pu être enregistrées après la coupure de l'électricité et pour en déduire les différents événements survenus durant le déroulement de l'accident», explique Horst-Michael Prasser. «Nous pouvons ainsi démontrer que le fondement théorique des mesures visant à limiter l'impact des défaillances était correct bien avant Fukushima. Cela signifie que les mesures de rééquipement définies et appliquées avec le plus grand soin par la Suisse bien avant la catastrophe sont tout à fait fiables et appropriées, car leur conception repose sur le même type de simulations informatiques». Sur le plan de la recherche, Fukushima a toutefois aussi soulevé quelques questions qui méritent d'être approfondies: par exemple comment optimiser les systèmes de dépressurisation avec filtrage destinés à abaisser la pression dans l'enceinte de confinement en cas d'accident grave, ou comment améliorer encore la protection contre les explosions d'hydrogène? →

¹ Voir à ce sujet le communiqué de presse du PSI (en allemand): www.psi.ch/media/rekonstruktion-des-nuklearunfalls-von-fukushima



La Suisse forme une relève hautement qualifiée pour la branche nucléaire: les étudiants du master en génie nucléaire avec leurs superviseurs au laboratoire chaud du PSI.

Photo: H.-M. Prasser

Du laboratoire chaud aux analyses de cycle de vie

Le laboratoire chaud du PSI est une grande installation qui reste un important instrument d'analyse de substances radioactives allant des produits d'activation au combustible irradié. C'est le seul laboratoire de Suisse habilité à travailler avec des échantillons fortement radioactifs pouvant atteindre le degré d'activité du combustible irradié et équipé de ce qu'il est convenu d'appeler des «cellules chaudes». Les opérateurs, protégés par d'épaisses vitres plombées, y manipulent des échantillons au moyen de dispositifs ad hoc. Le PSI soutient également l'IFSN pour le suivi de modèles informatiques complexes concernant les centrales nucléaires. Ce qui par contre est en recul au PSI, ce sont les contributions, autrefois de premier plan, apportées au développement de systèmes de sûreté passive pour la Génération III, c'est-à-dire pour les centrales nucléaires que l'on construit actuellement dans le monde.

Horst-Michael Prasser mentionne par ailleurs explicitement le Laboratoire d'analyse des systèmes énergétiques du NES, dont les activités, se réjouit-il, «sont très remarquées au niveau international». Ce labora-

toire, qui est à la pointe de l'évaluation comparative des technologies énergétiques au moyen d'analyses du cycle de vie, fournit d'importantes contributions à la stratégie énergétique de la Suisse: «Les résultats de ses travaux mériteraient d'être mieux pris en compte par l'opinion publique et les responsables politiques, car ils présentent les avantages et les inconvénients des différentes technologies sur une base scientifique et objective. Je ne vous cacherai pas que le nucléaire, l'hydraulique et l'éolien laissent toutes les autres technologies très loin derrière eux».

Les travaux du PSI sont complétés par les activités de recherche des deux chaires orientées sur le nucléaire des EPF. A Lausanne, les travaux portent surtout sur la physique des réacteurs et la neutronique, domaines dans lesquels les possibilités d'expérimentation offertes par le réacteur Crocus peuvent être mises à profit. Mis en service en 1983 à des fins de formation, ce réacteur modéré à l'eau légère est aujourd'hui le seul réacteur dont dispose le système scientifique suisse. De son côté, l'ETH Zurich travaille dans le domaine de la thermodynamique des fluides et des techniques de mesure de flux à haute résolution. «Les techniques de mesure de flux qui fournissent non

seulement des valeurs ponctuelles, mais indiquent aussi la distribution spatiale de ces valeurs sont très demandées pour le développement des programmes informatiques modernes», explique le professeur Prasser.

Perspectives d'avenir: lit de boulets, sels fondus, thorium

S'agissant du développement de nouveaux concepts de réacteurs allant au-delà des réacteurs à eau sous pression et à eau bouillante, la recherche est encore un peu plus fondamentale et académique. Là aussi, le PSI fournit depuis de nombreuses années des contributions reconnues au plan international, qui seront poursuivies et même étendues tout en étant légèrement réorientées. Elles reposent sur l'appartenance, récemment prolongée, de la Suisse au «Forum international Génération IV», qui assure la coordination des institutions participantes dans les pays membres.

Horst-Michael Prasser regarde vers l'avenir: «Les travaux de recherche bien positionnés seront poursuivis. C'est le cas de ceux portant sur les matériaux haute température et sur le réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium. Quant au réacteur à neutrons rapides refroidi au gaz, il sera abandonné, et nous

allons reprendre les recherches sur le réacteur à lit de boulets refroidi à l'hélium. Nous renforcerons en outre progressivement les travaux sur les réacteurs à sels fondus, tout en intégrant dans nos recherches les cycles du combustible au thorium».

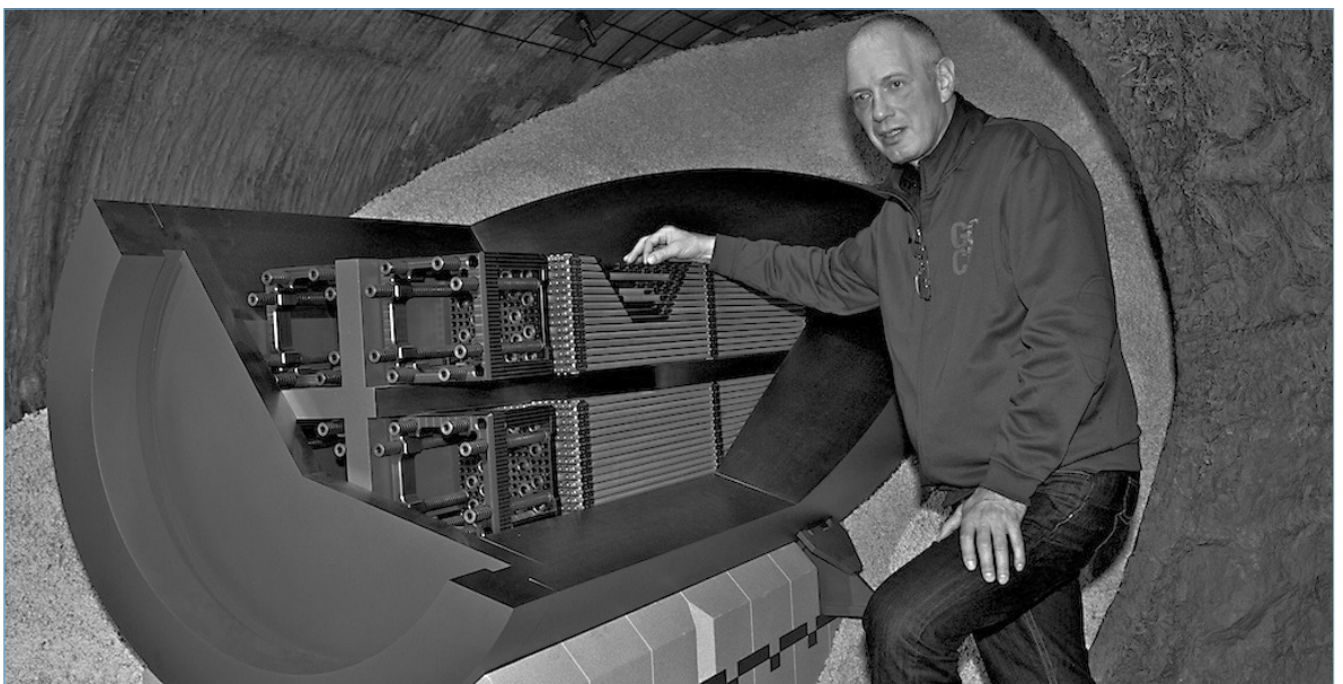
Une étude sur les réacteurs à lit de boulets, à sels fondus et au thorium a récemment été lancée avec le soutien financier de l'Association des entreprises électriques suisses (AES) et de swissnuclear. Elle contribue à développer les domaines dans lesquels le PSI dispose d'une expérience particulière et à identifier les besoins à venir en matière de recherche. La Suisse dispose de tous les contacts nécessaires au plan international pour la mener à bonne fin. C'est ainsi qu'il existe depuis peu une collaboration réglée contractuellement avec l'«Institute of Nuclear and New Energy Technology» de l'Université Tsinghua de Pékin, institut qui développe actuellement le réacteur à lit de boulets en construction à Shidao Bay, en Chine.

Maintenir les compétences malgré la concurrence étrangère

Interrogé sur l'avenir de l'enseignement, le professeur Prasser cite comme objectif le maintien des compétences dans le domaine du nucléaire. «Le défi consiste

Formation des étudiants à la centrale nucléaire de Gösgen.

Photo: H.-M. Prasser



à faire en sorte que le financement des travaux puisse être garanti à moyen et long terme, précise-t-il, étant entendu qu'il ne s'agit pas seulement de maintenir le programme de master des deux EPF, mais aussi et surtout de conserver les compétences de scientifiques expérimentés au sein du PSI.» Ce dernier doit tout

Le master en génie nucléaire

Les institutions du Domaine des EPF sont les principaux piliers de l'enseignement et de la recherche dans le domaine du nucléaire en Suisse. A la suite de l'introduction des formations en deux cycles d'études comprenant le bachelor et le master dans le cadre de la réforme de Bologne, la formation en génie nucléaire proposée par l'ETH Zurich a été restructurée. La chaire de technologie nucléaire a été remplacée au printemps 2006 par la chaire «Systèmes nucléaires». Cette dernière est soutenue financièrement par l'ETH Zurich Foundation, qui bénéficie pour sa part de contributions d'encouragement versées par swissnuclear. Quant à la chaire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes de l'EPFL, elle est entièrement financée par la Confédération.

Le «Master of Science in Nuclear Engineering» est proposé depuis le semestre d'hiver 2008/2009. Il est le fruit d'une collaboration entre l'ETH Zurich, l'EPFL et le PSI, ce qui constituait une première à l'époque de sa création. Ce master est donné en commun par les deux EPF. En automne 2010, le cursus a été étendu de trois à quatre semestres afin de répondre aux exigences de l'European Nuclear Education Network Association (ENEN) en matière de formation des ingénieurs nucléaires. Le master en génie nucléaire est donné en anglais, comme tous les autres programmes de master des EPF. Pour les étudiants étrangers, et plus particulièrement pour les doctorants, l'apprentissage de l'allemand est encouragé et soutenu.

mettre en œuvre pour rester attractif, notamment sur le plan économique, pour l'industrie suisse et pour l'autorité d'approbation. Il ne faut pas oublier que la recherche suisse est en concurrence avec les fournisseurs de l'étranger. Même le programme de master – élément clé de la formation de la relève – est tributaire de la continuité.

Depuis le lancement de ce master en 2008, le nombre d'étudiants est resté plus ou moins constant. Les inscriptions oscillent entre douze et quinze par année, sans que Fukushima ait entraîné un important recul. Les étudiants viennent des pays les plus divers, et la composition des groupes varie d'une année à l'autre. Il y a toujours deux ou trois étudiants suisses, ainsi que des étudiants originaires d'Allemagne, d'Italie, de France, de Chine et de Corée du Sud. Occasionnellement, des étudiants de pays comme le Canada, l'Espagne, les Etats-Unis, la Grèce, la Russie, l'Inde, la République tchèque, la Pologne, la Lituanie ou le Liban viennent s'y ajouter, ce qui donne à penser que ce master a bonne réputation à l'étranger.

Le professeur Prasser se montre également très satisfait du niveau des étudiants: «Le génie nucléaire n'est pas une branche que l'on choisit par hasard lorsqu'on ne sait pas quoi faire. Par conséquent, les étudiants sont très motivés». Il ne faut pas non plus oublier que le rayonnement du master s'étend bien au-delà du groupe des étudiants suivant ce cursus: «toutes les branches sont ouvertes aux étudiants d'autres filières – telles que génie mécanique, génie des procédés, électrotechnique, génie de l'environnement et physique –, et ils les suivent volontiers. La plupart du temps, il y a deux à trois fois plus d'étudiants d'autres filières que d'étudiants du master inscrits à ces cours», se réjouit Horst-Michael Prasser. Et l'on n'observe pas de diminution des effectifs. «Le master continue donc d'apporter une contribution importante à la création de capital humain pour la branche.» (M. S. / D. B.)

Un texte similaire a été publié en allemand dans le numéro 2/15 de «KKGespräch», le magazine des collaborateurs de la centrale nucléaire de Gösgen.

C'est la dose qui fait le poison

Pour de nombreuses substances nocives, des valeurs minimales ont été fixées, en dessous desquelles aucun effet néfaste n'est attendu. Dans le cadre du rayonnement ionisant en revanche, c'est le modèle linéaire sans seuil qui s'applique. Celui-ci préconise que toute dose de rayonnement aussi infime soit-elle représente un danger. Ce modèle est plus que jamais controversé et certains exemples attribuent même des vertus curatives aux faibles doses de rayonnement.

«C'est la dose* qui fait le poison». Cette phrase célèbre prononcée par le docteur Paracelse il y a 500 ans est aujourd'hui encore d'actualité. Mais bien qu'il soit reconnu, ce principe ne s'applique pas pour le rayonnement ionisant, appelé à tort rayonnement radioactif. Pour celui-ci, la Commission internationale de protection radiologique (CIRP) a formulé l'hypothèse LNT (Linear No Threshold, linéaire sans seuil), une relation dose-effet, sur laquelle se fondent les directives européennes et l'ordonnance allemande sur la radioprotection.

L'hypothèse LNT signifie que toute dose de rayonnement, aussi infime soit-elle, représente un danger. Elle a été introduite comme mesure de précaution en partant du principe que l'exposition, même faible, de cellules endommagées, empêche les mécanismes d'auto-guérison, et que chaque exposition conduit irrémédiablement à des mutations cellulaires, et a donc un effet cancérogène. Ainsi, sans même posséder de connaissances exactes sur le sujet, il a été décrété que le processus de la cancérogénèse était le même pour les doses faibles et élevées.

L'hypothèse LNT remise en question?

Or cette hypothèse ne cesse d'être remise en cause. De nombreuses études montrent en effet que les faibles doses de rayonnement ionisant non seulement ne re-

présentent aucun danger avéré, mais auraient même des propriétés thérapeutiques. Cela remet en question le fondement de l'hypothèse. Et de plus en plus de spécialistes estiment qu'en réalité, l'existence d'un rayonnement ionisant faible est vitale.

Le rayonnement ionisant intense exerce bien entendu une action très nocive sur les molécules sensibles de la vie, et notamment sur les informations génétiques contenues dans l'ADN. Depuis son origine, la Terre émet un rayonnement naturel relativement important, et la nature a développé au fil du temps de nombreux mécanismes de réparation et de secours destinés à protéger la vie contre ce type d'attaques. La protection résultant des mécanismes de réparation cellulaires est incroyablement efficace. Et des mutations du patrimoine héréditaire ont même été constatées chez les descendants des survivants d'Hiroshima.

Mieux comprendre les mécanismes de protection du corps humain

Nous comprenons aujourd'hui certains mécanismes de protection, d'autres en revanche font toujours l'objet d'études. Ainsi, la double hélice de l'ADN, l'existence de nombreuses cellules possédant leurs propres phrases d'ADN, le cycle cellulaire, ou encore le processus de renouvellement permanent des cellules sont autant d'exemples de défense naturelle contre les agressions.

A chaque mécanisme de réponse et de réparation est associée une vitesse de réaction. Durant ce laps de temps, la cellule est vulnérable aux autres attaques. Au-delà, en revanche, les effets nocifs ne se cumulent pas. Ces interactions biologiques étaient inconnues au lendemain des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, et la technologie nucléaire effrayait les gens. Cette peur du rayonnement de la bombe atomique constituait par ailleurs un instrument majeur et efficace de la politique mondiale durant la guerre

* La dose de rayonnement est mesurée en gray (symbole Gy), ou encore en J/kg, et indique l'énergie absorbée par 1 kg de matière irradiée. Généralement, on évalue cependant l'effet biologique d'un rayonnement grâce à la dose équivalente. Celle-ci est le produit de la dose absorbée par le facteur de pondération du rayonnement sans dimension q , et s'exprime en sievert (Sv). Mais étant donné que la valeur numérique de la dose peut également changer en raison du facteur de pondération du rayonnement, c'est le gray qui est utilisé pour exprimer les doses absorbées, et le sievert pour les doses pondérées. Le facteur de pondération du rayonnement est de 1 pour le rayonnement gamma et de 20 pour le rayonnement alpha. Le débit de dose, c'est-à-dire l'exposition au rayonnement par unité de temps, est exprimé en gray par an (Gy/a) ou en sievert par an (Sv/a). Etant donné qu'1 Gy ou 1 Sv représente des rayonnements très importants, on utilise davantage le mGy ou le mSv.

froide. Et la radioprotection actuelle est encore une réaction à cette pression politique. Le principe ALARA (as low as reasonably achievable, aussi bas que raisonnablement possible), est la base même de l'hypothèse LNT, née de la peur.

Il est urgent de revoir les ordonnances de radioprotection basées sur l'hypothèse LNT afin d'éviter des coûts inutiles et des craintes infondées au sein de la population [1-3]. Après tout, plus de 3000 rapports attribuent aux faibles doses de rayonnement un effet positif sur la santé [4].

La peur excessive cause du tort

Les inquiétudes de la population concernant le rayonnement de manière générale entravent l'utilisation médicale, scientifique et technique de processus générant du rayonnement ionisant, et entraînent ainsi la perte de vies humaines, sans parler d'un gaspillage de plusieurs milliards d'euros pour la désaffectation des centrales, le démantèlement des installations, la gestion des déchets radioactifs, la restructuration de l'approvisionnement énergétique, etc.

Le rayonnement ionisant génère des radicaux, c'est-à-dire des fragments moléculaires à courte durée de vie capables d'endommager les cellules corporelles et le patrimoine génétique. Il ne fait aucun doute que les doses élevées peuvent avoir une incidence très néfaste sur les cellules. De nouvelles études montrent cependant que les doses de rayonnement inférieures à 200 mSv non seulement ne sont pas nocives pour la santé, mais pourraient même avoir des vertus thérapeutiques. Rien de surprenant à cela puisque l'humanité est exposée de manière permanente à un rayonnement ionisant depuis son origine.

Les spécialistes en biologie moléculaire expliquent ce phénomène par le fait que le rayonnement faible active un processus de réparation au niveau de la molécule d'ADN, qui génère également une protection contre les futures agressions.

A propos de l'auteur

Jürgen Langeheine est docteur en physique et ancien membre de la direction de BASF-Magnetics/EMTEC. Son livre «Energiepolitik in Deutschland, das Geschäft mit der Angst» est paru en 2012 aux éditions AtheneMedia-Verlag.

La CIRP a mis au point une formule simple pour calculer le risque d'apparition de dommages chez une personne ayant été exposée au rayonnement:

$$R = 0,05 / 1 \text{ Sv}$$

Celle-ci ne prend en compte aucune valeur-seuil ni aucune limite dans le temps.

D'après cette formule, sur 1 million de personnes exposées sur tout le corps à une dose de 4 mSv, 200 personnes supplémentaires, soit 0,02%, contracteront une leucémie ou un cancer au cours des décennies suivantes. Il faut savoir cependant que rien qu'en Allemagne, qui compte 80 millions d'habitants, 220'000 personnes sont décédées en 2010 des suites d'un cancer, soit 2,75% de la population. Cela signifie que la part des personnes décédées des suites d'un cancer passera de 2,75% à 2,77%, à la condition cependant que tous les cas de cancer supplémentaires soient mortels. La différence est minime, l'intérêt statistique est donc nul.

Les interprétations abusives font naître la peur

La formule peut donner lieu à des interprétations abusives étant donné qu'un risque relativement minime associé à une forte population aboutit à un nombre élevé de victimes, et les scénarios les plus terrifiants se basent ensuite sur ces chiffres. Sur 1 million de personnes exposées à une dose de 1 Sv, le risque supplémentaire de développer un cancer est de 0,05%, ce qui représente 500 décès. Ou de manière encore plus globale: les retombées radioactives qui ont suivi les essais nucléaires auraient provoqué une augmentation du rayonnement ambiant de 1 mSv, pour les 7 milliards de personnes vivant sur Terre, ce qui représente 350'000 décès supplémentaires liés au cancer.

Suite à la catastrophe de Tchernobyl, qui, rappelons-le, est le résultat de l'ignorance et de la négligence humaine, le nombre de décès supplémentaires liés à un cancer avait ainsi été estimé à 54'000. Il se trouve que 56 seulement ont été avérés: 47 résultent d'une exposition directe à des doses élevées au moment de l'accident, et 9 à des cancers de la thyroïde sur les 4000 cas au total enregistrés après à l'accident.

Concernant les estimations du risque pour les faibles doses de rayonnement, l'hypothèse LNT conduit à des résultats non pertinents étant donné que le mécanisme d'auto-guérison de l'organisme humain exposé à ce type de dose n'est pas pris en compte. →

De «bons» radicaux libres

On retrouve ici les mêmes problèmes d'application que ceux de la théorie sur les radicaux libres, selon laquelle au cours du processus métabolique, des radicaux libres sont générés dans les cellules à partir de l'oxygène moléculaire produit lors du processus de respiration. Leur libération provoque l'endommagement de molécules importantes pour le fonctionnement cellulaire, telles que des molécules d'ADN, d'ARN, et de nombreuses molécules de protéine et de lipide. Une augmentation du métabolisme conduit à une formation plus importante de radicaux libres, ce qui devrait donc avoir un effet négatif sur l'espérance de vie. Les antioxydants, qui piègent les radicaux libres, devraient donc quant à eux permettre d'accroître cette espérance de vie. Or le docteur Ristow^[5] a montré que les radicaux libres étaient indispensables pour déclencher le processus d'hormésis, qui permet d'augmenter la capacité de défense de la cellule contre les radicaux libres. Une quantité trop importante d'antioxydants empêche en revanche le déclenchement de ce processus et occasionne une augmentation des taux de mortalité^[6].

Un adulte possède en moyenne 10^{14} cellules qui engendrent chaque jour 10^{11} divisions cellulaires, ce qui correspond à la formation de 10^{16} nouvelles cellules au cours d'une vie de 70 ans. L'ADN de chacune des cellules subit des attaques quotidiennes de la part des radicaux libres d'oxygène (RLO) réactifs, ce qui provoque environ 40 cassures de brins d'ADN par an^[7], tandis que le rayonnement naturel de 2 mSv est à l'origine de 0,1 cassure seulement. Le fait de respirer de l'oxygène (env. 500 g par jour et par personne) induit donc un risque de cancer qui correspond à l'exposition à une dose de rayonnement bien supérieure au rayonnement naturel.

Le mécanisme de réparation cellulaire et le temps de réaction nécessaire au déclenchement de ce processus de réparation ne sont pas pris en compte comme il se doit dans l'hypothèse LNT. La théorie formulée par la CIRP selon laquelle des doses cumulées sur une longue période représentent le même risque qu'une exposition courte mais à une dose plus forte, est fautive. Le système immunitaire d'un organisme humain peut d'autant mieux se protéger contre une attaque que la période sur laquelle la dose est répartie est longue.

L'influence de la lumière, des produits chimiques, des bactéries et des virus, est reconnue de manière officielle; seule celle du rayonnement ne l'est pas, en dépit du fait que l'organisme humain est exposé à un rayonnement ionisant partout sur Terre. En Allemagne^[8], ce

rayonnement est en moyenne de 4 mSv par an par habitant* (rayonnement du sol: 0,47 mSv, rayonnement cosmique: 0,35 mSv, air inhalé (radon!): 1,3 mSv, rayonnement issu des aliments: 0,3 mSv et rayonnement issu des examens médicaux: 1,8 mSv).

Tenir compte des chiffres

Ainsi, les 80 millions de personnes vivant en Allemagne sont exposées à une dose cumulée d'environ 160 mSv jusqu'à leur 80e anniversaire en moyenne (40 ans). Si l'on appliquait la formule de la CIRP, sur un million de personnes vivant en Allemagne, 8000 chaque année devraient contracter une leucémie ou un cancer dû au rayonnement ionisant, soit au total 640'000 personnes, ce qui représente 320'000 décès pour un taux de guérison de 50%. Or les statistiques allemandes sur le cancer ainsi qu'une étude de la Harvard^[9] indiquent que 1,5% seulement des 220'000 décès dus au cancer, enregistrés en 2010, étaient imputables au rayonnement ionisant, soit 3300 cas, ce qui correspond à 1% de la valeur prédite par le modèle de la CIRP!

Un tel écart devrait suffire à remettre en question l'hypothèse LNT sans restriction.

Le fait que les faibles doses de substances nocives ou toxiques ont un effet positif sur l'organisme n'est absolument pas remis en question dans le domaine médical, et est même utilisé à des fins thérapeutiques. La toxicité survient en cas de dépassement d'une dose spécifique absorbée spontanément. L'effet d'accoutumance de l'organisme humain à des doses faibles est lui aussi indiscutable. Si ce n'était pas le cas, chaque verre de vin par exemple serait un pas vers un «suicide» par l'alcool. Même si la consommation excessive d'alcool peut représenter sans aucun doute un suicide.

Des exemples multiples à travers le monde

On refuse de reconnaître ce mécanisme de protection issu du rayonnement ionisant bien que l'homme soit exposé à un tel rayonnement depuis son origine. Et ce rayonnement était même bien plus important au tout début de son existence. Or nous sommes toujours là. La CIRP ne tient pas compte du fait que dans certaines régions du monde, la valeur du rayonnement au sol présent en Allemagne est dépassée depuis des siècles,

* La rédaction: D'après l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), la dose de rayonnement annuelle moyenne à laquelle est exposée la population suisse est de 5,5 mSv par personne. Cette valeur élevée comparée à l'Allemagne s'explique par la dose inhérente au radon, estimée à 3,2 mSv par an depuis 2010 (auparavant 1,6 mSv) sur la base de l'évaluation du risque de la CIRP.

et que celui-ci atteint même parfois 10 mSv par an (sites d'extraction de monazite dans l'Etat de Kérala, en Inde), sans pour autant que l'on ait constaté d'augmentation des taux de cancer et de leucémie, ou encore de modifications du patrimoine génétique.

Et l'Inde n'est pas le seul pays dans lequel des régions habitées présentent un rayonnement naturel élevé. C'est le cas également à Yangjiang (Chine), Guarapari (Brésil) et Ramsar (Iran).

A Ramsar, ville de 2000 habitants, le rayonnement moyen se situe à 10 mSv par an, et cette valeur peut même atteindre 260 mSv par endroits. En Allemagne, le rayonnement naturel de 0,47 mSv varie elle aussi. Ainsi, elle s'établit à 1,5 mSv dans la forêt bavaroise, sans que des conséquences supplémentaires sur la santé n'aient été constatées.

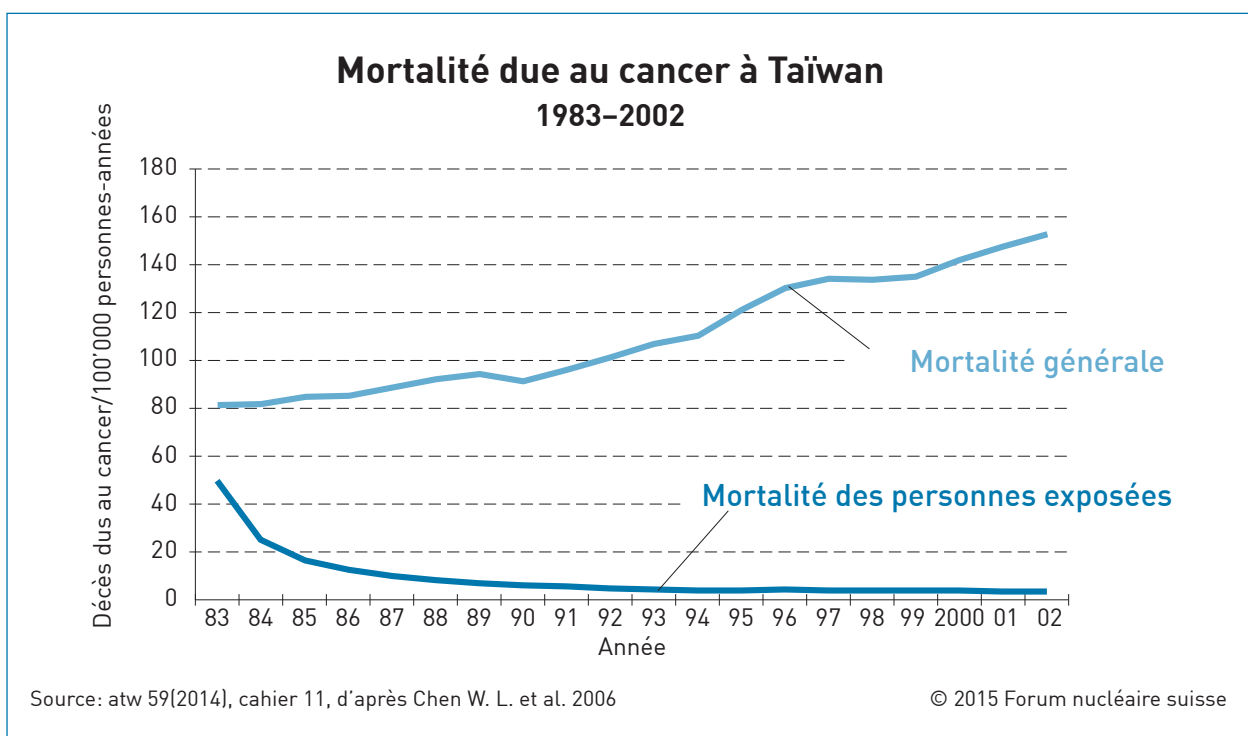
D'après les directives allemandes, une dose de rayonnement de 100 mSv par an justifie le départ de la population concernée, étant donné qu'elle représente un risque d'augmentation du taux de cancer et des troubles génétiques. Or les habitants de Ramsar sont exposés depuis plusieurs générations à un rayonnement naturel de cet ordre, qui d'après le modèle LNT, provoque donc des anomalies génétiques et un risque accru de la

maladie. Ainsi, d'après l'étude de la Harvard^[9], puisqu'environ 1,5% de l'ensemble des types de cancer sont dus au rayonnement ionisant, tous les habitants de Ramsar auraient déjà dû mourir du cancer. D'après des travaux réalisés par S. M. J. Mortazavi, M. Ghiassi-Nejad, P. A. Karam, T. Ikushima, A. Niroomand-Rad, J.R. Cameron^[10], les examens cytologiques ne mettent cependant en évidence aucune différence majeure avec des personnes exposées à des doses normales.

Les effets positifs des faibles doses de rayonnement

Contrairement à l'opinion générale, de nombreux tests réalisés sur des animaux et utilisant de faibles doses de rayonnement démontrent un effet positif de ces doses sur la protection contre le cancer et le ralentissement de la propagation de la maladie, comme cela est indiqué dans les publications de Sanders^[11], Doss^[12], Jolly et Meyer^[13].

Dans son travail intitulé «The health effect of low dose ionizing radiation», Luckey^[14] met en avant un état de santé optimal chez les mammifères lorsque ceux-ci sont exposés à un rayonnement de 60 mSv par an. Il indique par ailleurs que le risque de cancer des poumons recule dans les maisons américaines lorsque l'exposition au radon augmente^[15], que la mortalité due



au cancer baisse lorsque la dose de rayonnement faible augmente, et que lorsque le rayonnement naturel augmente, les maladies cancéreuses diminuent ^[16].

Une étude sur Taïwan ^[17] présente des résultats similaires. En 1980, de l'acier contaminé au Co-60 (demi-vie de 5,3 ans) a été utilisé pour construire des habitations à Taïpeh. L'erreur a été constatée au bout de 20 ans seulement. Le rayonnement initial avait atteint jusqu'à 900 mSv par an, puis avait baissé au fil des années conformément à la période de décroissance. La dose moyenne indiquée pour l'ensemble des personnes concernées est de 400 mSv par an. Des examens ont été réalisés sur les habitants une fois la situation connue, afin de déceler d'éventuels cas de cancers, de leucémies, ou encore de malformations. L'illustration 1 ^[17] montre l'effet du rayonnement sur le taux de mortalité du cancer en comparaison avec la situation générale à Taïwan (voir à la page 19).

Des taux de cancer étonnamment bas

Entre 1983 et 2002, le nombre moyen de décès dû au cancer à Taïwan était de 116 par 100'000 personnes-années. Cela représente 232 décès sur 10'000 personnes sur une période de 20 ans (10'000 x 20 x 116/100'000). Or, 3% seulement de ce nombre sont réellement décédés d'un cancer. Les études réalisées ultérieurement par S. I Hwang et al. ^[18] ont cependant montré qu'aucune protection complète contre le cancer n'avait été constatée en raison des multiples causes d'apparition de la maladie. Sur 7271 personnes (correspondant à 101'560 personnes-années) exposées à une dose de rayonnement moyenne de 47,8 mSv par an, avec une plage s'étendant de 1 à 2363 mSv par an, 141 cas de cancer ont été diagnostiqués. Les chiffres de la mortalité sont malgré tout restés inchangés.

En dépit du fait que de nombreux habitants avaient reçu une dose très élevée sur une longue période, aucun symptôme de maladie, aucune maladie due au rayonnement, et aucune augmentation sensible du taux de cancer ni du nombre de malformations, n'ont été observés. Il en est de même pour les anomalies chromosomiques.

Ces résultats illustrent simplement le fait que les organismes vivants sont capables de réparer des dommages dus au rayonnement ionisant, et de développer des mécanismes de protection contre des lésions cellulaires ayant d'autres causes. Il s'agit au final d'une

expérience sur l'homme réalisée de manière tout à fait fortuite, mais qui s'avère positive.

Contrairement à l'augmentation du taux de cancer en raison d'une exposition à des doses très élevées (supérieures à 2 Sv) sur une courte durée, comme cela a été observé chez les personnes victimes de la bombe atomique, les faibles doses ont au contraire présenté un effet positif sur la santé dans le cas des habitants de Taïwan, et ce rapidement après l'exposition, comme le montre le graphique ci-dessus.

Relativiser le risque

Ces résultats réfutent l'idée largement répandue et ancrée politiquement selon laquelle chaque dose, même minime, est nocive pour la santé. Les conséquences sur les analyses du risque portant sur le rayonnement ionisant dans le cadre de l'utilisation de la technologie nucléaire à des fins médicales et techniques, sont évidentes, et permettent de relativiser l'opinion largement admise en Allemagne selon laquelle le rayonnement a des incidences sur la santé.

La réalité nous démontre en effet le contraire, à savoir que les faibles doses de rayonnement constitueraient un moyen prometteur de lutter contre le cancer et permettraient même de réduire sensiblement le taux de mortalité.

Ces faits doivent être examinés de manière sérieuse et les ordonnances sur la radioprotection être révisées en conséquences. L'introduction d'une dose-seuil en dessous de laquelle il n'y a pas de risque, mais au contraire les conséquences sur la santé sont positives, simplifierait considérablement les mesures de radioprotection, et permettrait d'économiser des milliards d'euros, qui pourraient alors être investis pour résoudre par exemple des problèmes sociaux ou économiques.

Dans ce contexte, et compte tenu de ces faits, il convient également de juger la politique nucléaire qui est menée, et de l'intégrer dans une perspective d'approvisionnement énergétique durable en se basant sur des standards technologiques élevés. (Jürgen Langeheine, traduction: C.B.)

Réimpression d'atw 59(2014), cahier 11, novembre. Reproduction avec l'aimable autorisation des éditions Inforum. Les intertitres ont été rajoutés par la rédaction. →

Sources

- [1] Becker K. et Roth E., «Zur Wirkung kleiner Strahlungs-dosen», dans: atw 10, 1998, pp. 616–620
- [2] Becker K., «LNT or not LNT that is the question», dans: Strahlenschutzpraxis 2, 2006, pp. 44–48
- [3] Weber K. H., «Kritik an der linearen Extrapolations-Hypothese biologischer Strahlenwirkungen», http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2000/07/03_weber_kh.pdf
- [4] Luckey T. D., «Abundant health from radioactive waste», dans: Int J Low Radiation 5, 2008, pp. 71–82
- [5] Ristow, M., «Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans», dans: Proc. Nat. Acad Sci 106, 2009, pp. 8865–8870
- [6] Bjelakovic G. et al., «Mortality in Randomized Trials of Antioxidant Supplements of Primary and Secondary», dans: Prevention JAMA 297, 2007, pp. 842–857
- [7] Steward, R. D., «On the complexity of DNA damages created by endogenous processes», dans: Radiat. Res. 152, 1999, pp. 101–105
- [8] Langeheine J., Energiepolitik in Deutschland – das Geschäft mit der Angst, Athene-Media Verlag, ISBN 978-3-86992-054-2
- [9] Harvard Reports on Cancer Prevention, 1996
- [10] Mortazavi S. M. J., Ghiassi-Nejad M., Karam P. A., Ikushima T., Niroomand-Rad A., Cameron J. R., «Cancer incidence in areas with elevated levels of natural radiation», dans: Int. J. of Low Radiation 2(1/2), 2006, pp. 20–27
- [11] Sanders C. L., Radiation Hormesis and the Linear No Threshold Assumption, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2010, ISBN 978-3-642-03719-1
- [12] Doss M. «Evidence Supporting Radiation Hormesis in Atomic Bomb Survivor Cancer Mortality Data», dans: Dose Respose 10(4), 2012, pp. 584–592
- [13] Jolly D. and Meyer J., «A brief review of radiation hormesis», dans: Austral. Phys. EngSci Med 32(4), 2009, pp. 180–7
- [14] Luckey T. D., «The health effect of low dose ionization radiation», dans: J. of American Physicians and surgeons Vol. 13(2), 2008, pp. 39–42
- [15] Cohen B. L., «The test of the linear no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products», dans: Health Phys 68, 1995, pp. 157–174
- [16] Nambi K. S. V. and Soman S. D., «Environmental radiation and cancer deaths in India», dans: Health Phys 52, 1987, pp. 653–666
- [17] Chen W. L. et al. «Effect of cobalt-60 exposure on health of Taiwan residents suggest new approach needed in radiation protection», dans: Dose Res-ponse Aug 25, 5(1), 2006, pp. 63–75
- [18] Hwang S. L. et al., «Cancer risks in a population with prolonged low dose-rate γ -radiation exposure in radiocontaminated buildings, 1983–2002», dans: J. rad. Biol. 82(12), 2006, pp. 849–858

Le nucléaire au Conseil des Etats et dans le contexte de la campagne électorale

Le Conseil des Etats a pour la première fois débattu de la Stratégie énergétique 2050 lors de la session d'automne 2015. Le nucléaire s'est par ailleurs vu accorder une attention considérable par la presse suisse dans le contexte des élections fédérales. L'accent a une fois de plus été mis sur la durée d'exploitation des centrales nucléaires suisses en général, et de Beznau en particulier.

Dans le cadre des délibérations parlementaires sur la Stratégie énergétique 2050, le Conseil des Etats a rejeté le concept d'exploitation à long terme introduit par le Conseil national et la limitation à 60 ans de la durée d'exploitation de la centrale nucléaire de Beznau qui en découlait. Cette décision a suscité diverses réactions dans la presse suisse. Le commentateur du «Blick am Abend» a par exemple prédit «la vie éternelle» aux centrales nucléaires. A ses yeux, le tournant énergétique n'est pas un tournant et la sortie du nucléaire n'en est pas une, alors même que l'Allemagne a démontré la faisabilité de la transition énergétique. Il estime par ailleurs que l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires ne constitue pas une incitation à «arrêter de plein gré et à temps les vieilles centrales nucléaires».

L'analyse de Hanspeter Guggenbühl est plus nuancée, comme à l'accoutumée, mais pas forcément optimiste. Dans le journal «P.S.», qui se définit lui-même comme étant «de gauche», il écrit: «pas d'obligation d'économiser l'énergie pour les consommateurs d'électricité. Pas de limitation de la durée d'exploitation des vieilles centrales nucléaires. Pas de taxe sur les importations d'électricité issue de centrales au charbon. Avec ces décisions, le Conseil des Etats donne un sérieux coup de frein à la transition énergétique de la Suisse». Néanmoins, précise M. Guggenbühl, ces décisions ne sont pas définitives, et la Stratégie énergétique 2050 «continuera d'occuper le Parlement après les élections». Le quotidien «Der Bund» estime pour sa part que le débat sur la date de mise à l'arrêt des deux réacteurs de Beznau constitue «le point clé de la Stratégie énergétique 2050». «Si l'on en reste aux décisions prises par le Conseil des Etats, poursuit-il, les Verts soumettront au peuple leur initiative pour la sortie du nucléaire, qui prévoit l'arrêt des centrales après 45 ans d'exploitation».

Les candidats au Conseil des Etats et la sortie du nucléaire

Peu après la session d'automne, l'intérêt des médias s'est déplacé des conseillers aux Etats en activité pour se porter sur les candidats à cette fonction. Fin septembre, la «Thurgauer Zeitung» a relaté une joute oratoire entre les sortants Brigitte Häberli (PDC) et Roland Eberle (UDC) et le «challenger» Klemenz Somm des Verts libéraux. Ce dernier a reproché aux deux premiers de ne soutenir que mollement le tournant énergétique: «Je suis pour un abandon de l'atome à l'horizon 2029. M. Eberle veut sortir du nucléaire parce qu'il n'y a plus d'uranium. Mme Häberli veut sortir du nucléaire parce que c'est la volonté de la majorité». La réaction des intéressés est véhémente. «Cette déclaration est une ânerie complète», rétorque Roland Eberle, qui est membre du Conseil d'administration d'Axpo, ajoutant qu'il défend la sortie progressive du nucléaire telle que décidée par le Parlement en 2011, et qu'une limitation de la durée d'exploitation des centrales est inutile car la réglementation actuelle suffit. «Le cas de Beznau 1 le montre bien, précise M. Eberle. La centrale n'a pas été remise en fonction après la révision car des défauts ont été découverts dans la paroi en acier de la cuve du réacteur». Mme Häberli rejette également les critiques qui lui sont adressées. Elle regrette «la campagne électorale négative de M. Somm, qui tente ainsi de se profiler». Elle précise qu'elle est l'une des premières à avoir signé la motion qui a initié le tournant énergétique. Les deux conseillers aux Etats sortants ont été réélus.

De son côté, la «Basellandschaftliche Zeitung» a demandé à Anita Fetz (PS, Bâle-Ville), alors candidate à une quatrième élection au Conseil des Etats, son avis à propos du nucléaire: «Avec les organisations antinucléaires, nous avons découvert que les centrales nucléaires n'alimentent que de façon pitoyable les

fonds pour la désaffectation des centrales et pour la gestion des déchets. Il manque des milliards. La Confédération doit donc modifier l'ordonnance», a-t-elle répondu. Et de poursuivre: «En ce qui concerne le tournant énergétique, il n'a pas été possible de fixer une date fixe d'abandon du nucléaire. Cela m'a mise très en colère». Mme Fetz a elle aussi été reconduite dans ses fonctions.

«Des élections qui définiront l'orientation de la politique énergétique?»

Tel a été le titre choisi par l'«Aargauer Zeitung» (AZ) quelque deux semaines avant les élections. Ces dernières «définiront les grandes orientations de plusieurs dossiers, et en particulier de la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral». Aux yeux de l'AZ, c'est surtout le concept d'exploitation à long terme qui est menacé par les gains prévisibles de sièges des partis bourgeois: «Le 18 octobre, le peuple pourrait ainsi contribuer à déterminer le sort de la limitation de la durée d'exploitation des centrales. Néanmoins, si les représentants du peuple ne se prononcent pas dans le sens souhaité par ce dernier, l'initiative «Sortir du nucléaire» des Verts, qui demande la mise à l'arrêt des centrales nucléaires au bout de 45 ans d'exploitation, donnera au souverain la possibilité de rectifier le tir.»

A peu près une semaine plus tard, nous avons lu dans l'édition soleuroise de l'AZ un commentaire comparant les promesses électorales de certains politiciens avec la cuve du réacteur de la centrale nucléaire de Beznau: «Les parois de Beznau 1 ont tenu, du moins jusqu'à présent. Et en tout cas beaucoup mieux que n'ont été tenues bien des promesses électorales de politiciens fédéraux.»

Le rédacteur sait comment ça marche

Dans la «Sonntagszeitung» du 11 octobre, nous avons appris l'existence d'une étude selon laquelle «seules des centrales d'Arménie et de Taïwan sont plus «vulnérables» que Beznau». En fait, nous aurions pu passer aux pages suivantes dès la cinquième ligne, car «l'étude a été réalisée sur mandat de l'association romande Sortir du Nucléaire». Nous avons toutefois poursuivi notre lecture et appris que l'étude en question ne portait pas sur «la probabilité d'un accident majeur», mais uniquement sur les conséquences potentielles d'un tel accident. Un peu plus bas, il est apparu que la «vulnérabilité» prétendument élevée des centrales nucléaires suisses s'explique avant tout par leur situation géographique, et plus précisément par la proximité de régions densément peuplées. Selon la «Sonntagszeitung»,

l'étude conclut «qu'en cas d'accident grave «la question de la disparition de plusieurs cantons» se poserait». Toujours selon l'étude, le pays pourrait même «être coupé en deux physiquement en cas d'accident».

Dans la même édition de la «Sonntagszeitung», le rédacteur responsable du Palais fédéral donne ses instructions au président désigné du Conseil d'administration d'Axpo, qui prendra ses fonctions en mars 2016: «Pas de millions supplémentaires pour le monstre» qu'est Beznau, titre-t-il. Et d'ajouter: «Axpo estime visiblement qu'en investissant 700 millions à mauvais escient, elle a dépassé le point de non-retour. Jusqu'à nouvel ordre, on finance donc la poursuite de l'exploitation. Or, l'abandon coûtera des milliards. Toute stratégie consistant à le reporter ou à tenter de l'écarter en dépensant toujours plus de millions est vouée à l'échec».

Appréciations diversifiées des élections

Dans les semaines qui ont suivi les élections au Parlement, différentes analyses ont été consacrées à la sortie du nucléaire et à la place qu'elle occupera au sein du nouveau Parlement. Andi Stutz s'est exprimé avec son effronterie habituelle dans le «Blick am Abend»: «Les groupies du nucléaire ont gagné les élections. Cependant, aucune nouvelle centrale nucléaire ne pointera son dôme vers le ciel. Lors de la dernière législature, il a en effet été décidé d'arrêter les vieux réacteurs et, à terme, d'abandonner l'atome. Mais ce «à terme» est sujet à interprétation et donc extensible. Belle affaire pour les amis des casseroles brûlantes. Pourquoi penser au bien commun s'il y a du profit à faire?» En contrepoint, il convient ici de mentionner l'avis de Hanspeter Guggenbühl, paru à la fois dans «P.S.» et dans la «Tageswoche». M. Guggenbühl estime qu'en dépit de la faible majorité obtenue par les partis favorables à l'atome que sont l'UDC et le PLR, la stratégie énergétique ne devrait pas être plus édulcorée qu'elle ne l'a selon lui déjà été par le Conseil des Etats. Il pense en effet que les «adversaires bourgeois de la stratégie énergétique n'avancent pas en rangs serrés». Ainsi, Christa Markwalder (PLR, Berne) et Markus Hausammann (UDC, Thurgovie) ont voté pour la stratégie énergétique, et Erich von Siebenthal (UDC, Berne) s'est abstenu. Hanspeter Guggenbühl s'attend donc à ce «qu'avec ce glissement à droite, le Conseil national adopte la version du Conseil des Etats, qui correspond en grande partie à la stratégie initiale adoptée par le Conseil fédéral après la catastrophe de Fukushima». Et de conclure que le tournant énergétique a d'ailleurs déjà commencé, car «le vieillissement des centrales

fait qu'avec ou sans limitations politiques, la production d'électricité nucléaire est condamnée à s'arrêter à moyen terme».

Politique locale et regard extérieur

Des politiciens locaux se sont également interrogés sur l'avenir de la centrale nucléaire de Beznau, comme l'a relaté la «Badener Tagblatt» du 31 octobre. Suite à un postulat déposé par l'ancien responsable des campagnes de Greenpeace, Leo Scherer, ses collègues du législatif de Wettingen devront se pencher sur la question de savoir ce qui se passerait pour les habitants de la commune si «un nuage radioactif était émis par la centrale nucléaire de Beznau 1». Concrètement, M. Scherer veut «savoir, dans l'intérêt de la population, à quelle dose de radiations elle serait vraisemblablement exposée la première année et les 50 années suivantes en cas d'accident». Le postulat n'avait pas encore été traité au moment de la clôture de la rédaction.

Nous terminons cette revue de presse non exhaustive par un regard extérieur des plus rafraîchissants. A la mi-novembre, Leslie Dewan – une jeune ingénieure nucléaire dont la startup, Transatomic, développe un réacteur à sels liquides – a passé quelques jours à Zurich. Lors d'une interview accordée à l'hebdoma-

naire «Schweiz am Sonntag», elle s'est vu d'entrée de jeu poser la question de savoir si elle se sentait en sécurité à proximité de la plus vieille centrale nucléaire en service au monde. «Mais naturellement, a-t-elle répondu, je trouve ça cool.» Et de préciser qu'elle habite tout près du plus vieux réacteur de recherche au monde: «Il est même plus âgé que Beznau puisqu'il a été construit dans les années 1950». Peu désireux d'en rester là, le journaliste a demandé à Leslie Dewan s'il ne vaudrait tout de même pas mieux arrêter Beznau, une centrale âgée de 16 ans de plus que la jeune ingénieure. Réponse de l'intéressée: «Je suis très favorable à la poursuite de son exploitation. Aux Etats-Unis, plusieurs centrales nucléaires ont été mises à l'arrêt, ce qui est une honte, car ces centrales ont avant tout été remplacées par du courant issu d'installations fonctionnant au charbon et au gaz». Sa réaction à la question de savoir ce que lui inspire l'accident de Fukushima-Daiichi donne à réfléchir: «C'était choquant. Horrible. Et c'était aussi un rappel à l'ordre pour l'industrie. Pour moi, cela a été une motivation supplémentaire à étudier des types de réacteurs plus sûrs». Par souci d'équité, précisons que la plupart des 17 autres questions portaient effectivement sur le développement du réacteur à sels liquides. (M.Re./D.B., d'après différents articles de presse)

En Suisse

Lors des délibérations relatives à la **Stratégie énergétique 2050**, le Conseil des Etats s'est opposé à la fois au concept d'exploitation à long terme et à une limitation de la durée d'exploitation des centrales nucléaires suisses. Il souhaite cependant inscrire dans la loi l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires. Le projet doit désormais retourner au Conseil national qui se prononcera pour la seconde fois, dans sa nouvelle composition.

Un **dépôt final** de déchets radioactifs doit pouvoir être construit également contre la volonté du canton concerné. Après le Conseil des Etats, le Conseil national rejette lui aussi l'introduction d'un droit de véto. L'initiative cantonale «Droits de codécision de la population lors de la construction d'un site d'entreposage de déchets radioactifs» est ainsi réglée.

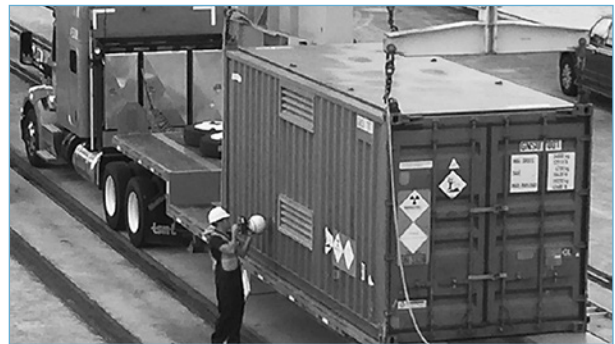
Les indemnités et les mesures de compensation sont suffisamment réglementées dans le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes». Il n'est pas nécessaire d'introduire de nouvelles bases légales. Telle est la conclusion du **Conseil fédéral** après examen du rapport sur le postulat «Répercussions d'un dépôt en couches géologiques profondes».

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) examine depuis début 2015 les rapports et analyses techniques sur lesquels la **Nagra** appuie sa proposition de conserver Zurich nord-est et Jura-est comme sites d'implantation potentiels pour des dépôts en profondeur dans la phase 3 de la sélection de sites. L'IFSN a désormais exigé **plus de documentation** de la Nagra, ce qui entraîne des retards dans le calendrier.

Trois conteneurs composés de déchets vitrifiés hautement radioactifs **issus du retraitement** sont arrivés au site d'entreposage de Zwiilag en septembre 2015. Ces déchets ont été réacheminés pour la première fois depuis le centre de Sellafield, en Grande-Bretagne.

La **Suisse** et l'Agence pour l'énergie nucléaire (**AEN**) de l'OCDE ont prolongé leur collaboration dans le domaine de la recherche et du développement de **centrales nucléaires de quatrième génération**.

La **Suisse** a retourné environ 2,2 kg d'uranium hautement enrichi (UHE) en provenance du réacteur de recherche à l'arrêt de l'Université de Bâle dans leur pays de provenance, les Etats-Unis. Le pays est désormais **entièrement vidé de son UHE**.

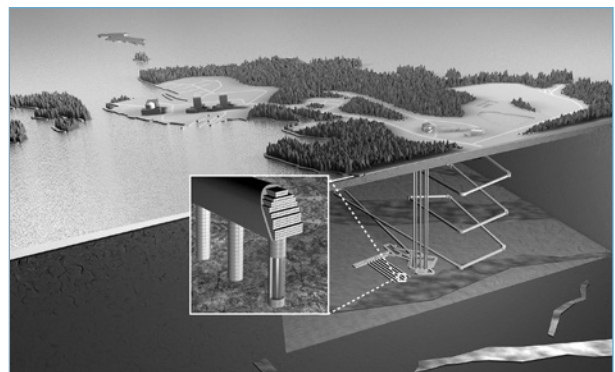


Le retour de l'UHE en provenance du réacteur de recherche de Bâle s'effectue dans le cadre de l'initiative GTRI (Global Threat Reduction Initiative).

Photo: NNSA

A l'étranger

Le **gouvernement finlandais** a autorisé le 12 novembre 2015 la construction du premier **dépôt en couches géologiques profondes** au monde, destiné aux déchets hautement radioactifs. Celui-ci abritera les assemblages combustibles usés issus des tranches Olkiluoto 1 et 2, Olkiluoto 3 (en construction) et Olkiluoto 4 (en projet), exploitées par Teollisuuden Voima Oyj (TVO), ainsi que Loviisa 1 et 2, exploitées par Fortum Power and Heat Oyj. →



Représentation du dépôt en couches géologiques profondes de déchets hautement radioactifs sur la presqu'île d'Olkiluoto. Il s'agit du premier dépôt de ce type au monde.

Photo: Posiva

La société de gestion des déchets suédoise Svensk Kärnbränslehantering AB (**SKB**) espère pouvoir lancer les travaux de construction du **dépôt en couches géologiques profondes** en 2019. L'installation devrait entrer en exploitation normale en 2030. SKB avait sélectionné un site au sud-est de la centrale nucléaire de Forsmark, les formations rocheuses étant sèches et ne présentant que quelques rares zones de cassure à cet endroit.

Le **gouvernement australien** a présélectionné six sites qui s'étaient portés candidats pour accueillir un **dépôt final** national destiné aux déchets de faible et de moyenne activité. La consultation publique se terminera le 11 mars 2016. Par la suite, deux à trois de ces sites seront étudiés plus en détail.

Un nouveau «Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear» (**Gain**) permettra d'améliorer le réseau de l'**industrie nucléaire** aux **Etats-Unis**. Le gouvernement américain mise sur les futurs concepts de réacteur ainsi que sur la poursuite de l'exploitation du parc nucléaire actuel.

La National Nuclear Security Administration (NNSA) du Département américain de l'énergie (DOE) a retiré près d'1 kilo d'uranium hautement enrichi (UHE) d'origine américaine du réacteur de recherche jamaïcain UWI CNS Slowpoke (Safe Low-Power Critical Experiment). Il n'y a ainsi **plus d'UHE dans les Caraïbes**.

Avec le retrait du combustible liquide irradié présent dans le réacteur de recherche IIN-3M Foton du Radiation and Technological Complex de Tachkent, **l'Ouzbékistan** est désormais **vidé** de tout son uranium hautement enrichi (**UHE**). L'UHE a été acheminé en Russie, son pays de provenance.



Le camion qui transporte le conteneur chargé du combustible d'UHE liquide entre dans la salle de chargement de l'avion-cargo AN-124.

Photo: Sandor Tozser/AIEA

Les **coûts de production** de l'électricité d'origine nucléaire ont **très peu augmenté** au cours des dernières années et sont comparables à ceux des autres grosses centrales de base. Telles sont les conclusions de la dernière version de l'étude «Projected Costs of Generating Electricity», rédigée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE.

Le chancelier de l'Echiquier George Osborne a confirmé dans le cadre d'un voyage en Chine que le gouvernement britannique avait autorisé l'allocation d'une **garantie d'emprunt** de 2 milliards de livres sterling, ce qui devrait permettre **d'accélérer** le projet de centrale nucléaire **Hinkley Point C**.



La garantie d'emprunt accordée par le gouvernement britannique ouvre la voie aux investissements chinois dans le projet de nouvelle construction de l'EPR Hinkley Point C, dans le Somerset (représentation générée par ordinateur).

Photo: EDF Energy

L'entreprise publique roumaine Societatea Nationala Nuclearelectrica SA (**SNN**) et la China General Nuclear Power Corporation (**CGN**) ont signé une déclaration d'intention portant sur le développement, l'achèvement, l'exploitation, et la désaffectation des tranches nucléaires Cernavoda 3 et 4.

Le groupe français Electricité de France (**EDF**) et le Chinois China General Nuclear Power Corporation (**CGN**) ont signé le 21 octobre 2015 un accord stratégique d'investissement portant sur la construction de nouveaux réacteurs nucléaires en Grande-Bretagne. Les deux entreprises veulent construire ensemble deux EPR sur chacun des sites de Hinkley Point et de Sizewell, et deux tranches du type chinois Hualong One sur le site de Bradwell. →

En marge de la rencontre du G20 en Turquie, l'**Argentine** et la **Chine** ont signé un accord commercial concernant la construction d'une quatrième tranche nucléaire en Argentine, ainsi qu'un accord-cadre en vue d'une cinquième tranche. Les investissements associés s'élevaient au total à 15 milliards de francs.

A l'automne 2015, l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) a délivré une autorisation d'exploitation de 20 années supplémentaires pour la centrale nucléaire de **Sequoyah**, dans l'Etat du Tennessee, et pour la centrale de **Bryon**, dans l'Illinois.



La centrale nucléaire de Sequoyah, dans l'Etat du Tennessee, pourra fonctionner 60 ans.

Photo: TVA

Dominion Virginia Power, une unité commerciale de Dominion Resources Inc., est le premier énergéticien américain à vouloir demander une seconde prolongation de l'exploitation de 20 ans pour sa centrale nucléaire de **Surry**. Si l'entreprise dépose réellement la demande et que celle-ci est approuvée par la NRC, Surry sera la première centrale nucléaire américaine à pouvoir rester en exploitation durant **80 ans**.

Les tranches nucléaires **Sendai 1 et 2** ont été mises en service commercial aux mois de septembre et de novembre 2015. Il s'agit des deux premiers réacteurs japonais à produire à nouveau de l'électricité depuis l'accident de réacteur de Fukushima-Daiichi. Les deux installations remplissent en effet les nouvelles directives de sécurité en vigueur, plus strictes.

Le premier béton du réacteur de recherche polyvalent à neutrons rapides et à haut flux **MBIR** a été coulé le 11 septembre 2015 sur le site de Dimitrovgrad, en Russie.

Selon China General Nuclear Power Corporation (CGN), le réacteur nucléaire **Yangjiang 3** a délivré du courant sur le réseau national pour la première fois le 18 octobre 2015. Six tranches nucléaires au total sont prévues sur celui-ci.

A l'issue de cinq ans de travaux de construction, la tranche chinoise **Fangchenggang 1** a pour la première fois délivré de l'électricité sur le réseau le 25 octobre 2015. Le site se trouve dans la province autonome de Guangxi, à proximité de la frontière avec le Vietnam. Six tranches au total sont prévues sur ce site.

La tranche nucléaire **Changjiang 1**, sur l'île d'Hainan, dans la mer de Chine méridionale, a pour la première fois délivré de l'électricité sur le réseau national en novembre 2015.



La tranche nucléaire chinoise Changjiang 1, du type CNP-600, est désormais connectée au réseau. 30 tranches sont actuellement en exploitation en Chine.

Photo: CNNC

Les tranches nucléaires en projet **South-Texas-Project 3 et 4** présentent la sécurité nécessaire pour pouvoir être construites et exploitées. Telles sont les conclusions des collaborateurs de l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) à l'issue d'une analyse du rapport de sécurité. D'après la NRC, la procédure de consultation publique, obligatoire, devrait être lancée fin 2015. L'autorité décidera ensuite de délivrer ou non la Combined Construction and Operating License (COL).

L'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) a annoncé que sur le plan de la sécurité rien ne s'opposait à la délivrance d'une autorisation de site anticipée pour la centrale nucléaire en projet dans l'état du **New Jersey**. La prochaine étape portera sur l'étude du rapport de l'impact environnemental. →

La troisième centrale nucléaire de Turquie sera construite près d'**Iğneada**, à proximité de la frontière avec la Bulgarie, dans la province de Kırklareli. Le pays souhaite entrer dans le nucléaire et mène également des projets de construction à Akkuyu et à Sinop, où quatre tranches sont prévues sur chaque site.

Sur la base d'études scientifiques approfondies, l'Agence fédérale de contrôle nucléaire belge (AFCN) est arrivée à la conclusion que les défauts découverts à l'été 2012 dans le matériau de la cuve de pression des tranches **Doel 3 et Tihange 2** n'avaient pas d'incidence sur le fonctionnement sûr des réacteurs à eau sous pression. Ces derniers peuvent donc être reconnectés au réseau.

Le Département américain de l'énergie (DOE) a délivré une autorisation d'exploitation de 40 ans pour la tranche nucléaire **Watts-Bar 2**. L'installation devrait être mise en service début 2016. Tennessee Valley Authority (TVA) sera la première entreprise des Etats-Unis à connecter une tranche nucléaire au réseau depuis 20 ans. La dernière tranche en date était Watts-Bar 1, mise en service en février 1996.



Quand elle sera connectée au réseau, début 2016, **Watts-Bar 2** sera la 100^e tranche nucléaire en exploitation aux Etats-Unis.

Photo: TVA

Le groupe étatique suédois Vattenfall AB, actionnaire majoritaire de Ringhals AB, déconnectera définitivement du réseau sa tranche **Ringhals 2** en 2019 et sa tranche **Ringhals 1** un an plus tard. Avant cela, l'exploitante de la centrale d'**Oskarshamn**, OKG AB, avait annoncé vouloir mettre à l'arrêt définitif la tranche 1 entre 2017 et 2019 et la tranche 2 à l'horizon 2020.

Entergy Corporation a annoncé le 13 octobre 2015 qu'elle déconnectera définitivement du réseau sa centrale nucléaire **Pilgrim 1**, dans l'Etat du Massachusetts, au plus tard le 1^{er} juin 2019. Elle a invoqué les prix bas de l'énergie, le manque de perspectives d'amélioration sur le marché de l'électricité et l'augmentation des coûts d'exploitation.

Entergy Corporation déconnectera définitivement du réseau sa centrale de **Fitzpatrick**, dans l'Etat américain de New York, fin 2016 ou début 2017. L'entreprise a justifié sa décision par une baisse croissante de la rentabilité de l'installation.

Malgré l'annonce de l'arrêt de près de 2000 MW de capacité nucléaire d'ici à 2019, la **construction** prévue de plus de 5000 MW entre 2016 et 2020 devrait permettre une croissance nette de la capacité nucléaire globale aux **Etats-Unis**. Telles sont les conclusions de l'Energy Information Administration (EIA).

Le **prix Nobel de physique 2015** a été décerné au Japonais Takaaki Kajita et au Canadien Arthur B. McDonald pour avoir découvert que les neutrinos pouvaient osciller d'un type à l'un autre, et, par voie de conséquence, possédaient une masse. (M.A./C.B.)



Le Japonais Takaaki Kajita et le Canadien Arthur B. McDonald, lauréats du prix Nobel de physique 2015.

Photo: Fredrik Sandberg

► 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.

Prof. Iwan Rickenbacher



Les élections 2015, un bilan intermédiaire

Pourquoi parler de «bilan intermédiaire» alors que les élections fédérales ont eu lieu il y a déjà plus d'un mois? Parce que ces élections ne seront vraiment terminées qu'une fois que la nouvelle composition des commissions permanentes du Conseil national et du Conseil des Etats sera connue, que l'élection du Conseil fédéral par l'Assemblée fédérale aura eu lieu (9 décembre) et que les départements auront été répartis entre les conseillers fédéraux, ce qui se fera au sein même du Conseil fédéral dans les heures suivant l'élection de ce dernier.

Le 18 octobre, 246 parlementaires ont été confirmés dans leur fonction ou élus pour la première fois. 27 conseillers nationaux n'ont pas été réélus. Lorsque des députés se retirent ou ne sont pas reconduits dans leurs fonctions, leurs «invités», souvent des lobbyistes, perdent leur accès à la salle des pas perdus. C'est notamment le cas d'Amnesty International. Le lobby de l'environnement a lui aussi souffert, en raison des mauvais résultats obtenus par les Verts et les Vert'libéraux. Quant aux intergroupes parlementaires Viticulture et Promotion de la paix, ils ont subi de lourdes pertes.

A propos de l'auteur

Après avoir obtenu son diplôme d'instituteur, Iwan Rickenbacher a étudié les sciences de l'éducation à l'Université de Fribourg, où il a obtenu son doctorat. Il a commencé sa carrière professionnelle en 1975 comme directeur de l'école normale du canton de Schwyz. De 1988 à 1992, il a occupé la fonction de secrétaire général du Parti démocrate-chrétien (PDC). Depuis 1992, il travaille comme conseiller en communication indépendant. En 2000, il a été nommé professeur honoraire à l'Université de Berne. Iwan Rickenbacher est membre du Conseil d'administration de Tamedia SA et président du Conseil de fondation de l'École suisse de journalisme MAZ à Lucerne.

Les élections du 18 octobre et le deuxième tour organisé pour une partie des sièges du Conseil des Etats donnent un certain nombre de signaux. Dans son analyse a posteriori des événements, l'institut de sondage gfs.bern parle de «glissement vers la droite» de la représentation du peuple. A l'exception des grandes villes et des couches supérieures de la population, l'UDC est partout devenu le premier parti du pays: chez les catholiques comme chez les protestants, dans les agglomérations comme à la campagne, chez les jeunes comme chez les personnes âgées, et même chez les femmes. Aux élections au Conseil national, il a recueilli 29,4% des suffrages. Après d'ingénieux calculs, certains constatent qu'une nouvelle majorité de droite s'est formée au sein de la Chambre basse. Cela va-t-il entraîner une réorientation de la politique?

Les relations entre les majorités au Parlement ne sont pas si simples. Le seul fait que les rapports de force ne soient pas les mêmes dans les deux Chambres – le PDC et le PLR disposent d'une majorité au Conseil des Etats – montre que les grandes orientations de la politique après décembre 2015 ne sont pas prévisibles globalement.

Une analyse de l'action du Parlement pendant la période 2011-2015 (gfs.bern: «Das neue Selbstbewusstsein der alten Mitte» [la nouvelle confiance de l'ancien centre]) montre que certains grands groupes de l'Assemblée fédérale, comme l'UDC et le PS, ont eu moins d'impact sur la politique que le laisse supposer le nombre de sièges dont ils disposent, car les coalitions qui se forment au Parlement dépendent des domaines traités. Dans le domaine de la politique sécuritaire, les majorités qui se créent traditionnellement sont des majorités bourgeoises. Par ailleurs, c'est une alliance entre le centre et la droite qui a permis à des projets financiers et fiscaux à caractère le plus souvent bourgeois de s'imposer. La politique européenne a pour sa part plutôt été façonnée par une pensée «socio-libérale». Quant à la politique énergétique et environ-

nementale, sujet qui nous intéresse ici tout particulièrement, elle a vu se dégager une nouvelle coalition dirigée par le PDC.

En matière de politique énergétique et environnementale, le PDC a majoritairement soutenu les projets de sa conseillère fédérale, Doris Leuthard. Sur ces dossiers, il a été suivi non seulement par les socialistes, les Verts, les Vert'libéraux et le PBD, mais aussi par certains membres du PLR et, au Conseil des Etats, de l'UDC.

Du fait des pertes électorales subies par les Verts, les Vert'libéraux et le PBD, il n'y a pas de renforcement de la tendance à vouloir restructurer notre approvisionnement énergétique de manière radicale. Néanmoins, la formation des commissions permanentes (neuf commissions législatives et deux commissions de surveillance), prévue pour le 10 décembre, aura un poids presque aussi grand car les propositions de ces commissions préfigurent souvent les décisions finales. L'UDC occupera huit ou neuf sièges (sur 25) dans les commissions permanentes du Conseil national, contre sept jusqu'à présent. Ensemble, l'UDC et le PLR auront la majorité absolue dans plusieurs commissions. On peut s'attendre à de vives discussions autour de la répartition des sièges à la Commission de l'économie et des redevances (CER) et à la Commission de la sécurité sociale et de la santé publique (CSSS), car des dossiers extrêmement importants comme la réforme de l'imposition des entreprises et la réforme des rentes seront à traiter.

La Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie (CEATE) se penchera pour sa part sur la mise en œuvre de la stratégie énergétique et la sortie du nucléaire. Nul besoin d'être prophète pour affirmer que le financement de la rétribution du courant injecté ou les contributions aux investissements dans des installations photovoltaïques, pour ne citer que ces exemples-là, donneront matière à des échanges animés. Et le débat sur la réforme fiscale écologique devra également être mené, même si ce sera avant tout au sein de la CER. La coalition thématique formée autour des questions énergétiques et environnementales a perdu de sa stabilité.

Ces réflexions nous amènent à conclure que la notion de «glissement vers la droite» ne donne qu'une idée très générale de l'impact des élections sur la politique de ces prochaines années. Au Conseil national, des coalitions changeantes continueront de se former, tandis qu'au Conseil des Etats, les anciens rapports de force vont plus ou moins perdurer, ce qui renforcera encore le poids de la Chambre haute dans le processus décisionnel. A cela s'ajoute le fait que des dossiers importants seront tranchés par les urnes. Et là, on ne peut pas prévoir qui saura convaincre et mobiliser au moment décisif, et avec quels arguments. Les réponses des partis et de leurs représentants aux questions d'actualité sont l'un des trois principaux facteurs qui font que l'on partage ou non la position d'un parti et que l'on vote ou non pour lui. (Traduction: D.B.)

En avant-première: le projet Wendelstein, objet de la première Rencontre du Forum de 2016

La première Rencontre du Forum de l'année est habituellement consacrée à un thème relevant de la recherche. Cette tradition sera perpétuée en 2016 avec la poursuite de notre série de conférences sur la fusion. Notre conférencier sera le professeur Thomas Klinger, directeur scientifique de l'expérience «Wendelstein 7-X» menée à Greifswald par l'Institut Max-Planck de physique des plasmas. Au travers de son exposé intitulé «La longue route vers l'obtention de plasmas de fusion stables – le stellarator supraconducteur Wendelstein 7-X», le professeur Klinger nous donnera une vue d'ensemble des principes de la fusion nucléaire tout en rappelant les principales caractéristiques physiques des stellarators optimisés. Il mettra également en évidence le caractère pionnier et audacieux que revêtent la conception et la construction d'une installation qui est la première de son genre. En guise de conclusion, il nous présentera les perspectives de développement des centrales à fusion et décrira les principales questions restant à régler dans ce domaine par la recherche mondiale.

La conférence aura lieu le **18 février 2016** à l'EPFL. Elle sera donnée en anglais, et suivie d'un apéritif. (S.Ry. / D.B.)

De l'argent bien investi?

Le 26 novembre, une brève des plus intéressantes (voir ci-dessous) a été publiée dans l'édition bâloise du quotidien gratuit «20 Minuten»: dans le cadre d'un train de mesures énergétiques, le canton de Bâle-Campagne a versé 61 millions de francs de contributions d'encouragement depuis 2010. Grâce à cette somme, poursuivait le journal, on a pu économiser 169 GWh d'énergie.

Au vu de ce triomphalisme, nous n'avons pas pu nous empêcher de jouer avec les chiffres: chaque kilowattheure économisé a coûté 36 centimes; et avec 61 millions de francs, les clients privés auraient pu acheter quelque 296 GWh d'électricité au prix moyen (pour 2016) de 20,6 centimes par kilowattheure. Quant

aux 169 GWh d'électricité économisés, ils auraient, toujours au tarif 2016, coûté quelque 35 millions de francs à ces mêmes clients s'ils avaient été consommés.

En admettant que le prix de revient de l'électricité soit de 5 centimes par kilowattheure, on aurait pu produire – par exemple dans une centrale nucléaire suisse – rien de moins que 1220 GWh d'électricité avec ces contributions. Et en supposant que le canton utilise exclusivement des chauffages et des chauffe-eau électriques, on aurait ainsi pu couvrir près d'un tiers de la consommation annuelle d'énergie de ses habitants pour le chauffage et l'eau chaude. Mais, bon gré mal gré, on aurait alors dû leur taire la provenance du courant utilisé. (M.Re./D.B.)

Förderbeiträge von 61 Millionen

LIESTAL. Die Baselbieter Regierung zieht eine positive Halbjahresbilanz ihres 2010 gestarteten Energiepakets. Bisher seien 61 Mio. Fr. an Förderbeiträgen ausbezahlt worden, davon 41 Mio. vom Bund und 20 Mio. vom Kanton. Der Landrat hatte 50 Mio. bereitgestellt. Von 2010 bis 2014 sind laut Mitteilung dank des Energiepakets fast 169 Gigawattstunden Energie eingespart worden. Das entspricht rund 4,6 Prozent des jährlichen Raumwärme- und Warmwasserbedarfs im Kanton. Mit den Beiträgen aus dem Energiepaket wurden bisher gegen 400 Millionen Franken Investitionen ausgelöst. SDA

Des contributions d'encouragement de 61 millions

LIESTAL. Le gouvernement de Bâle-Campagne tire un bilan intermédiaire positif du train de mesures énergétiques qu'il a lancé en 2010: 61 millions de francs ont été versés à titre de contributions d'encouragement, dont 41 millions par la Confédération et 20 millions par le canton. Le parlement cantonal avait mis à disposition une enveloppe de 50 millions. Selon le communiqué publié, le train de mesures énergétiques a permis d'économiser près de 169 GWh d'énergie pendant la période 2010–2014. Cela correspond à environ 4,6% de la consommation annuelle du canton pour le chauffage et la préparation d'eau chaude. A ce jour, les contributions versées au titre du train de mesures en question ont généré des investissements de l'ordre de 400 millions de francs.

Photo: «20 Minuten»

Guerre idéologique autour de la leucémie: corrélation ou causalité?

La question de savoir s'il existe un lien entre la leucémie infantile et les centrales nucléaires est depuis longtemps un sujet de préoccupation pour le monde scientifique et pour la société. Lors de la quatrième Rencontre du Forum nucléaire suisse, qui s'est tenue le 8 octobre 2015 à Zurich, le professeur Felix Niggli, chef du département d'oncologie pédiatrique de l'Hôpital des Enfants de Zurich, et le docteur Jürg Schädelin, ancien chef de la division Epidémiologie et sécurité des médicaments de Novartis, ont présenté le point de vue de la médecine sur le sujet.

Devant un parterre de plus de 70 personnes, Felix Niggli a ouvert la conférence en présentant quelques données fondamentales sur le cancer chez les enfants en général et sur la leucémie infantile en particulier. En Suisse, cette dernière est le type de cancer le plus fréquent en pédiatrie: on en enregistre quelque 70 cas par année, et la leucémie aiguë lymphoblastique (LAL) en est de loin la forme la plus fréquente. Grâce aux énormes progrès réalisés en matière de traitement médicamenteux depuis les années 1950, le taux de survie à la LAL est aujourd'hui supérieur à 80%. Parmi les causes possibles de leucémie, le professeur Niggli cite plusieurs facteurs, dont la science ne connaît cependant pas encore la portée exacte: certaines mutations génétiques innées, des faiblesses immunitaires, des virus, mais aussi le rayonnement ionisant et d'autres types de rayonnement.

En 1983 s'est produit en Grande-Bretagne un événement qui, selon le professeur Niggli, est à l'origine de tout le battage autour du rayonnement: un article expliquait le nombre accru de cas de leucémie observé chez les enfants des habitants de Seascale, une localité proche de l'usine de retraitement de Sellafield, par des dommages génétiques affectant le sperme des employés de l'installation. Cette hypothèse a été réfutée par la littérature spécialisée en 1994, et en 1998, le professeur Leo Kinlen a émis l'hypothèse selon laquelle l'excès de cas en question serait dû à un virus arrivé dans la région avec les employés de Sellafield. A la fin de son exposé, le professeur Niggli a présenté un modèle de causalité à deux niveaux reposant sur la combinaison d'une modification génétique prénatale et d'une infection ultérieure constituant l'élément déclencheur.

Les «mélanges de populations», une cause possible

Jürg Schädelin s'est ensuite penché sur différentes études portant sur des clusters de leucémies tels que celui observé à Seascale, que ces clusters soient supposés ou prouvés. Ses explications ont montré que ces études sont très difficiles à comparer entre elles parce qu'elles ne portent pas sur les mêmes facteurs et présentent d'importantes disparités en ce qui concerne la qualité des données. Les études en question ont toutefois permis d'établir que ces agrégats de leucémies sont certes un phénomène réel, mais qu'ils ne sont pas dus au rayonnement. On a néanmoins assisté à l'apparition, dans la société, d'une guerre idéologique autour de la question de savoir si l'on est en présence d'une relation de corrélation ou de causalité. Pour pouvoir répondre à cette question de façon définitive, des études supplémentaires et un suivi exhaustif sont nécessaires. De l'avis du docteur Schädelin, les données actuellement disponibles tendent à accréditer la thèse selon laquelle l'aspect migratoire, c'est-à-dire le mélange de populations, serait la cause de ces agrégats. Outre une surveillance constante et institutionnalisée, il faut, dans cette bataille à fort caractère émotionnel, une communication cohérente à propos du risque. Embellir les choses ou passer la réalité sous silence, souligne le docteur Schädelin, est tout aussi contreproductif que d'inonder l'opinion publique de spéculations. (M.Re./D.B.)

Cours d'approfondissement 2015: optimisation des coûts dans le cadre d'une culture solide de la sûreté

Le cours d'approfondissement 2015 du Forum nucléaire suisse, qui a eu lieu les 17 et 18 novembre à Olten, a mis en lumière les possibilités qui s'offrent aux centrales nucléaires pour optimiser leurs coûts dans le cadre de la culture de la sûreté propre à la Suisse. La manifestation était subdivisée en quatre blocs thématiques: le cadre politico-économique, les possibilités d'optimisation existant sur les plans opérationnel et technique, le rôle du personnel et les conditions organisationnelles.

Cette édition du cours d'approfondissement aura été la cinquantième depuis la fondation de ce qui était alors l'Association suisse pour l'énergie atomique (ASPEA), et la dernière organisée sous la direction d'Urs Weidmann, président de la Commission pour la formation et directeur de la centrale nucléaire de Beznau, qui prendra sa retraite en 2016.

«On ne peut pas avoir le beurre et l'argent du beurre!»

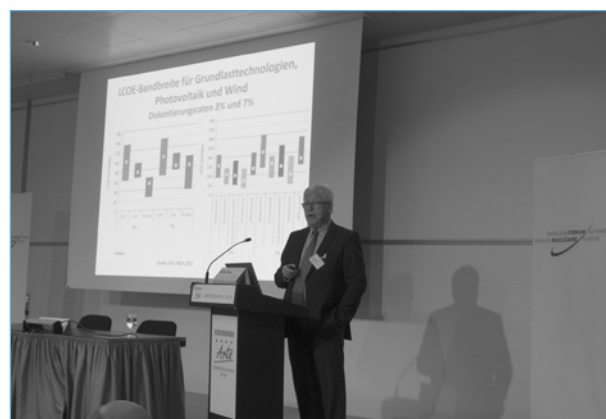
Au début de la manifestation, le conseiller national Christian Wasserfallen s'est élevé contre la falsification des ordres de grandeur qui marque «un débat politique trop souvent utilisé comme faire-valoir». L'Etat a pour mission de créer les conditions-cadres et de fixer les règles du jeu; il ne peut être tout à la fois investisseur, subventionneur et poseur d'obstacles. Telles ont été les critiques formulées par M. Wasserfallen à l'encontre de la Stratégie énergétique 2050. «La physique ne parle pas le même langage que la politique», et le versement de subventions tous azimuts ne saurait garantir la viabilité à long terme de la politique énergétique.

Le deuxième exposé a une fois de plus mis en évidence le fait que la situation économique des fournisseurs suisses d'électricité est fortement impactée par ce qui se passe en Europe. Selon Matthias Gysler, chef de la section Régulation du marché à l'Office fédéral de l'énergie, il faut, pour relever ce défi, un système d'approvisionnement orienté vers l'avenir, un encouragement axé sur le marché, des technologies de stockage, de la souplesse, une exploitation et un développement efficaces des réseaux, des Smart Grids et une intégration dans le marché international. A cet égard, l'absence d'accord sur l'électricité avec l'UE constitue un obstacle important. Mais même sans un tel accord, a relevé M. Gysler, il existe une collaboration étendue avec les instances européennes.

Pourquoi, dans la situation actuelle, vaut-il la peine d'acheter du courant en Allemagne ou en France pour le revendre en Suisse? Davide Orifici, directeur d'EPEX SPOT Schweiz AG, a répondu à cette question lors de la troisième présentation. Comme il l'a précisé, le fait que la Suisse ait jusqu'à présent été exclue du couplage des marchés européens est un désavantage à la fois pour la sécurité d'approvisionnement et pour les prix. Bien que les conditions techniques pour le raccordement de la Suisse soient remplies, d'autres conditions ne le sont pas encore: il manque notamment l'accord avec l'UE précité.

Prolonger la durée d'exploitation des centrales est la meilleure option

«Il n'y a pas de concurrence réelle dans la fourniture d'électricité», a déclaré Alfred Voss, de l'Institut d'économie énergétique et d'utilisation rationnelle de l'éner-



Selon le professeur Alfred Voss, «la comparaison d'installations de production d'électricité représentatives montre que les coûts totaux (somme des coûts de production, des coûts systémiques et des coûts externes) de l'éolien et du photovoltaïque dépassent d'un facteur 2 à 4 ceux des nouvelles centrales nucléaires».

Photo: Forum nucléaire suisse

gie de l'Université de Stuttgart. Il estime que les énergies renouvelables sont encore loin de pouvoir concurrencer les énergies fossiles et le nucléaire. Après avoir comparé les différentes technologies des points de vue des coûts de production, des coûts systémiques et des coûts externes, il est arrivé à la conclusion que la prolongation de la durée d'exploitation des centrales nucléaires est la meilleure solution du point de vue financier. Aujourd'hui comme demain, les énergies renouvelables ne devraient pas acquérir un caractère concurrentiel sans subventionnement, car leurs coûts d'intégration augmentent au fur et à mesure que leur part dans la production croît.

Michaël Plaschy, chef de l'unité Production nucléaire d'Alpiq, s'est pour sa part montré rassurant: «Malgré un contexte difficile, la Suisse compte encore des centrales électriques rentables!» A part Mühleberg, a-t-il expliqué, toutes les centrales suisses ont axé leur stratégie d'investissement sur l'exploitation à long terme. A la moitié de leur durée de vie, elles ont déjà effectué la majeure partie des investissements, si bien que la courbe s'aplatit en fin d'exploitation. L'exploitation à long terme est la meilleure option, même si les prix du marché sont bas. Il existe une certaine marge de manœuvre en ce qui concerne des coûts d'exploitation comme les coûts de matériel ou les frais de tiers ainsi que dans le domaine des combustibles.

Optimisation des coûts n'est pas forcément synonyme de baisse des dépenses

Comme l'a expliqué dans l'après-midi Andreas Pfeiffer, directeur de la KKL, la disponibilité est la clé de l'optimisation des coûts des centrales nucléaires. La marge de manœuvre côté dépenses est limitée, et des facteurs externes comme les exigences des autorités, les exigences politiques ou la hausse des prix des fournisseurs peuvent relativiser, voire annuler des économies. Dès lors qu'une centrale nucléaire est en service, on peut en augmenter la puissance ou le rendement, même si elle a déjà 30 ans, et ainsi en optimiser les coûts. Par conséquent, la modernisation des centrales nucléaires suisses contribue à la rentabilité et au caractère respectueux de l'environnement de l'approvisionnement en énergie de notre pays!

Patrick Schmid, de la centrale nucléaire de Beznau, a ensuite présenté un exposé intitulé «Optimisation des coûts d'acquisition par la collaboration transversale». Il a appelé à se concerter plus tôt et davantage afin d'optimiser les coûts d'acquisition, et donné plusieurs exemples pratiques tels que les procédures électroniques d'appels d'offres, les stratégies en matière de normes à l'échelon des divisions, l'optimisation des



Martin Zimmermann, du PSI, a souligné l'importance de la collaboration internationale.

Photo: Forum nucléaire suisse

processus par la transmission radio des données et les «Cross Functional Teams» à l'échelon de la centrale. Il y a même des échanges entre centrales nucléaires en matière de coordination et de standardisation.

Quelles sont les expériences réalisées par ABB dans le domaine du *lean management*? Tel a été le thème abordé par Andreas Koch à la fin de la première journée. Dans le cas de la fabrique ABB de disjoncteurs de générateur, un processus de transition vers la *lean entreprise* a débuté en 2006 avec un objectif très ambitieux: réduire le délai d'exécution de six mois à quatre semaines et demie. Ce type de fabrique est fortement dépendant du bon fonctionnement de certains sous-processus, pour lesquels les délais sont extrêmement serrés. M. Koch a résumé comme suit la situation: «Nous ne pouvons pas nous permettre de stagner et devons donc nous réinventer, mais cela ne peut se faire d'un coup de baguette magique: il nous faut travailler dur!»

Le personnel et les connaissances jouent un rôle décisif

Au début de la deuxième journée, Simon Maurer, de Skyguide, a expliqué comment le secteur de l'aéronautique gère les défis liés à la sécurité tout en étant confronté à la pression des coûts. Statistiquement parlant, l'avion est aujourd'hui le moyen de transport le plus sûr. La méthode de Skyguide est la suivante: faire en sorte que la sécurité soit visible au travers des processus et des structures, axer la culture d'entreprise à la fois sur la sûreté et sur les coûts, traiter la complexité de façon ciblée et faire progresser la standardisation. →

En psychologie, la recherche sur le thème de la «conduite axée sur la sûreté dans un contexte de pression économique» est très difficile. Toni Wäfler, de la haute école de psychologie appliquée de la HES du nord-ouest de la Suisse (FHNW) a néanmoins décrit la relation existant entre pression économique, sûreté et management. En psychologie, on considère qu'en plus du contrat de travail écrit, il existe un contrat de travail psychologique et que les changements importants perçus comme négatifs peuvent être vécus comme une rupture de ce contrat, si bien que l'on ne se sent plus lié par ce dernier. Des ruptures du contrat psychologique peuvent se produire sous l'effet de la pression économique, ce qui se répercute sur le comportement au travail et donc sur la sûreté.

Comme l'a expliqué Kai Fischer, de la KKL, la pression des coûts rend également plus difficiles le maintien du savoir-faire et la transmission des connaissances. Or, au vu de la complexité des centrales nucléaires et des contraintes de temps auxquelles elles sont soumises, la connaissance de l'installation est la ressource la plus importante pour en assurer l'exploitation sûre et fiable. M. Fischer a présenté des exemples concrets, tirés de l'exploitation de Leibstadt, de cet état de fait. Une gestion efficace du savoir, conclut-il, augmente la disponibilité de l'installation et donne de bonnes possibilités de pilotage en vue d'optimiser les coûts et de bien planifier l'avenir.

Dans le monde de la recherche, il est moins question d'optimisation des coûts que dans les domaines de travail des autres orateurs, a indiqué Martin Zimmermann, de l'Institut Paul-Scherrer (PSI). En décrivant les activités du PSI dans le domaine de l'énergie et de la technologie nucléaires ainsi que l'impact de la limitation des moyens financiers sur la recherche, il a expliqué que «pour les chercheurs, le moteur de l'optimisation des processus n'est pas la pression des coûts, mais la volonté d'avancer plus vite dans les recherches». Dans ce contexte, il faut également développer au mieux les collaborations existantes et en établir de nouvelles, étant entendu que des conflits d'intérêts peuvent surgir et qu'il faut savoir préserver son indépendance.

L'influence de l'organisation et des processus

Dans toute organisation, la communication est essentielle et les malentendus ne devraient pas devenir la règle, a souligné Elvira Porrini, propriétaire et directrice de la société de conseil X-Challenge Consulting. Les conflits et la controverse font partie d'une bonne culture de la sûreté, car il faut pouvoir communiquer

même si l'on n'est pas du même avis. En dernière analyse, tous les points de friction présents dans une organisation ont une composante sociale et doivent être traités et discutés de façon structurée.

Christian Lichka, consultant en management et directeur de la société BOC Schweiz AG, a lui aussi donné un certain nombre de conseils pratiques. Les défis à relever dans le domaine de la gestion par les processus sont nombreux. Certains silos à projets constituent un risque pour les systèmes de management intégrés dans lesquels différents processus et projets sont étroitement imbriqués et dépendent les uns des autres. Si l'on veut mettre en place des processus orientés coûts, plusieurs conditions doivent être remplies: il doit y avoir une architecture des processus et une véritable responsabilité des processus, les processus doivent être assortis d'objectifs, le système de management doit être axé sur les processus et un contrôle de gestion doit être effectué. Les standards facilitent la comparabilité.

Anne Eckhardt a ensuite présenté un exposé du «point de vue radicalement différent» de l'autorité de surveillance. Elle a expliqué que l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) doit être financièrement indépendante, ce qui est garanti par la perception de redevances. La sûreté est tout au plus négociable au début du processus, lorsque le monde politique discute des exigences à remplir. Ensuite, il n'y a plus de discussion possible, a souligné Anne Eckart. C'est ainsi que l'on travaille en Suisse, et les standards internationaux en matière de rééquipement sont souvent fixés sur la base de nos centrales. Reste que la sûreté est assurée par l'être humain, raison pour laquelle le maintien des compétences, aussi bien dans les centrales que chez les autorités, ne doit en aucun cas être négligé.

Présenté par Gerhard Herz de la société E.On Technologies GmbH, le dernier exposé a fait état d'une réaction radicale – la scission d'un grand groupe – à des circonstances difficiles. Une rétrospective portant sur les dix dernières années de l'histoire du groupe a mis en évidence de nombreuses influences externes et les décisions internes qui ont été déterminantes. Pendant cette période, la société E.On a néanmoins assuré l'exploitation de ses centrales nucléaires de façon sûre et sans incident grave. Les changements survenus ont toutefois déclenché des peurs chez les collaborateurs et provoqué des fluctuations d'une ampleur jusqu'alors inconnue. Malgré tout, des processus d'optimisation sont aussi en cours dans ce domaine. Enfin, la société E.On a fait de nécessité vertu en proposant son savoir-faire en matière de démantèlement. (M.Re./D.B.)

Apéritif de la SOSIN

Le prochain apéritif de la SOSIN aura lieu le 19 janvier 2016 au pavillon des visiteurs de la centrale nucléaire de Gösgen.

www.kernfachleute.ch

Première Rencontre du Forum de 2016

La première Rencontre du Forum nucléaire suisse de 2016 aura lieu le 18 février à l'EPFL. Le professeur Thomas Klinger de l'Institut Max-Planck de physique des plasmas donnera une conférence intitulée «La longue route vers l'obtention de plasmas de fusion stables – le stellarator supraconducteur Wendelstein 7-X».

www.nuklearforum.ch/fr/1e-rencontre-du-forum

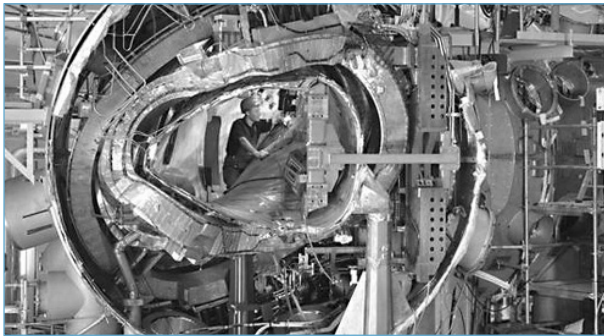


Photo: IPP, Wolfgang Filser

Feuilles d'information actualisées

Le Forum nucléaire suisse a actualisé les feuilles d'information «Ecobilan de l'énergie nucléaire: efficacité et préservation de l'environnement», «Le nucléaire et l'hydraulique, un mix de production éprouvé», «Les centrales nucléaires de troisième génération», «Les futurs systèmes de réacteurs» et «Thorium: le combustible nucléaire de demain?». Elles sont disponibles en ligne.

www.nuklearforum.ch/fr/feuilles_info



Photo: Gunnar Pippel

Cours de post-formation «Modelling and Computation of Multiphase Flows»

Des cours sur le thème «Modelling and Computation of Multiphase Flows» auront à nouveau lieu à l'EPF de Zurich du 15 au 18 février 2016. Ces cours modulaires comprennent des séries bien coordonnées de conférences. Ils s'adressent aux ingénieurs et aux chercheurs qui aimeraient acquérir des connaissances fondamentales de pointe, des informations sur leurs applications nucléaires et sur les techniques modernes d'analyse des phénomènes multi-fluides, sur les techniques de calcul numérique appliquées.

www.lke.mavt.ethz.ch/shortcourse

Newsletter E-Bulletin

Pour une information détaillée semaine après semaine: abonnez-vous à notre newsletter E-Bulletin. Vous recevrez la newsletter chaque mercredi directement dans votre boîte aux lettres électronique.

www.nuklearforum.ch/fr/newsletter



Photo: Shutterstock

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