

Juillet 2022

BULLETIN 2



Axpo teste un robot industriel

Page 6

Gestion des déchets: une alternative à la vitrification

Page 12

Poursuivre l'exploitation des réacteurs allemands?

Page 27

L'Assemblée annuelle 2022 consacrée à la sécurité de l'approvisionnement électrique

Page 35

Table des matières

Éditorial

Le nucléaire fait son come-back 1

Entretien avec...

«L'approvisionnement énergétique ne peut être bâti sur l'espoir que cela suffira» 2

Informations de fond

L'innovation au service de l'efficacité et de la sécurité 6

Des centrales nucléaires pour produire de l'électricité, mais aussi de la chaleur et de l'hydrogène 8

Enfermer les déchets dans une roche synthétique 12

«Un recul de la culture antinucléaire dominante» 17

Décryptage

La propagande de guerre à propos des installations nucléaires 19

Brèves nucléaires

En Suisse 22

À l'étranger 23

La der nucléaire

Poursuivre l'exploitation des centrales au nom de la sécurité énergétique: une option balayée par la politique 27

Couac!

Doris Leuthard «n'a jamais été en faveur des interdictions» 33

Nouvelles internes

18^e assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse 34

Les interdictions idéologiques mettent en péril la sécurité de notre approvisionnement électrique 35

Journée des doctorantes et doctorants 2022 du département Énergie nucléaire et sûreté du PSI 39

Pour mémoire 40

Le nucléaire fait son come-back



Hans-Ulrich Bigler

Président du Forum nucléaire suisse



L'assemblée générale et l'assemblée annuelle du Forum nucléaire suisse se sont déroulées le 10 mai 2022, à Berne. Après deux années consécutives de vote par correspondance en raison de la pandémie, j'étais très heureux de pouvoir à nouveau accueillir sur place les participantes et participants.

De nombreux événements se sont produits dans le secteur nucléaire depuis notre dernière rencontre. Et je le dis avec joie: le nucléaire est de retour! Depuis l'été dernier, les débats de la politique climatique et énergétique se sont en effet fortement réorientés sur l'énergie nucléaire.

Nous n'avons pas ménagé nos efforts pour faire évoluer ces débats en 2021, en mettant l'accent notamment sur les thèmes de la sécurité de l'approvisionnement, du climat, et des nouvelles technologies de réacteurs, que nous avons portés à la connaissance du grand public.

Par ailleurs, un groupe de travail chargé d'accompagner ces débats a été mis sur pied au sein du Forum nucléaire suisse. Il se compose de jeunes ingénieures et ingénieurs, scientifiques et économistes. Ce groupe de travail a élaboré une nouvelle stratégie énergétique pour la Suisse qui intègre l'énergie nucléaire, et a simulé les scénarios associés. Et une chose est claire: les résultats sont bien plus pessimistes que les calculs des Perspectives énergétiques de la Confédération, en particulier en ce qui concerne les possibilités d'importation de courant. Mi-juin, peu de temps après le rejet de la loi sur le CO₂, cette stratégie a été présentée à la politique et aux médias, à Berne, sous la forme d'un livre blanc. Cet événement a été l'un des points forts de l'année 2021. Le débat lancé se poursuit encore aujourd'hui. Je remercie une nouvelle fois chaleureusement tous les membres du groupe de travail pour leur précieux engagement – ils n'ont pas hésité à intervenir bénévolement et en dehors de leur temps de travail.

L'année écoulée a également été riche en événements au niveau de l'association. Malgré la pandémie, nous avons organisé deux fois plus de manifestations que les années précédentes, et nous mettons tout en œuvre afin que l'énergie nucléaire gagne en visibilité et en acceptation, y compris au sein du Palais fédéral.

Le peuple a, lui aussi, une meilleure opinion vis-à-vis de l'énergie nucléaire. Au mois de mars, nous avons réalisé un sondage qui a montré qu'il y avait la même proportion de personnes favorables et de personnes opposées à l'énergie nucléaire en Suisse alémanique et en Suisse romande. Et pour la première fois depuis des années, le soutien au nucléaire est à la hausse, ce qui réfute l'affirmation de nombreux détracteurs selon laquelle l'utilisation de l'énergie nucléaire dans le futur ne serait pas acceptée par les Suisses et Suissesses. Mais il reste encore beaucoup à faire avant qu'une nette majorité ne soutienne le nucléaire dans notre pays.

«L'approvisionnement énergétique ne peut être bâti sur l'espoir que cela suffira»



Eduard Kiener

Ancien directeur de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Eduard Kiener a été directeur de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) durant 23 ans, de 1977 à 2001. Dans une interview accordée à notre podcast NucTalk, il nous raconte ce qu'il a vécu durant cette période et nous livre son opinion concernant la politique énergétique actuelle de la Suisse et les débats sur les coûts et la rentabilité de l'énergie nucléaire.

Eduard Kiener, vous avez été nommé directeur de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) en 1977, et avez occupé ce poste durant 23 ans.

Comment le paysage énergétique suisse a-t-il évolué durant cette période?

Au début, je voyais le secteur de l'énergie, et en particulier celui de l'économie électrique, comme une branche de l'ingénierie. Les ingénieurs ont mis sur pied l'approvisionnement électrique actuel de la Suisse en construisant des centrales hydroélectriques, des centrales nucléaires et des lignes haute tension. Plus tard, à la fin de mon mandat, tout a changé en raison de la libéralisation du marché de l'électricité. Les CEO des entreprises énergétiques étaient davantage des managers et des économistes. L'accent était moins mis sur l'approvisionnement que sur le rendement. À ce moment-là, la consommation énergétique, la consommation électrique et la dépendance vis-à-vis de l'étranger ont augmenté sans que la capacité de production ne parvienne à suivre la cadence. Lorsque j'ai commencé à l'OFEN, le potentiel de l'hydraulique était déjà presque entièrement exploité. Quelques petits projets étaient encore menés. Mais il n'y avait plus de gros projets comme dans les années 50 et 60, et l'infrastructure n'a pas été suffisamment développée, à l'exception du réseau de gaz. C'est le seul secteur dans lequel des projets d'envergure étaient encore mis en œuvre, à l'image

du doublement de la conduite de transit à travers la Suisse. Cet élan suscité par le développement de l'hydraulique et la construction nucléaire est retombé. La modification des conditions-cadres en raison de la libéralisation a joué un rôle majeur. On a encouragé l'amélioration de l'efficacité et le développement technique, par exemple du photovoltaïque et des pompes à chaleur. Mais il a fallu attendre le changement de siècle pour recueillir les premiers résultats, lorsque ces technologies ont été utilisées à plus grande échelle.

Eduard Kiener est né en 1938 et est titulaire d'un diplôme d'ingénieur mécanicien obtenu à l'EPF de Zurich. Après un bref passage dans l'industrie, il reprend des études à l'Université de Berne pour devenir spécialiste en économie nationale. En 1973, il intègre ce qui était alors la centrale pour les questions d'organisation de l'administration fédérale avant de devenir chef d'état-major de la Commission fédérale de la conception globale suisse de l'énergie dans l'ancien DFTCE (aujourd'hui DETEC). En 1977, le Conseil fédéral le nomme directeur de l'OFEN. Il quittera son poste en 2001.

Les centrales nucléaires de Gösgen et de Leibstadt ont été mises en service également sous votre mandat. Comment avez-vous vécu ces évènements?

L'opposition grandissante du mouvement antinucléaire n'a pas été ressentie qu'à Kaiseraugst mais aussi à Gösgen et à Leibstadt. Les manifestations contre la construction et la mise en service de la centrale de Gösgen, notamment, ont donné lieu à des situations parfois dangereuses.

Le réacteur était plus ou moins un modèle standard allemand qui avait été adapté aux exigences des autorités nucléaires suisses. Il s'agissait d'une combinaison entre la conception américaine – épaisse, solide et résistante – et la conception allemande, qui utilisait peu de matériaux, sans doute des séquelles de la guerre. Nos autorités ont alors recherché le meilleur mix possible, et on peut dire qu'elles y sont parvenues: Gösgen fonctionne très bien encore aujourd'hui.

La construction de Leibstadt a été plus laborieuse. Elle a été lancée beaucoup trop tôt. Le projet n'était pas abouti et il s'est avéré que l'industrie suisse n'était, en réalité, pas en mesure de mener un tel projet. Celui-ci s'est heurté à des problèmes récurrents avec les autorisations, les documents demandés n'étant pas disponibles à temps. Par ailleurs, l'accident de Three Mile Island, à Harrisburg, aux États-Unis, a donné lieu à de nouvelles prescriptions de sécurité contraignantes.

Les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl se sont produits alors que vous étiez directeur de l'OFEN, de même que les premiers mouvements de protestation à Gösgen et Kaiseraugst, qui ont finalement abouti à l'annulation du projet de Kaiseraugst. D'autres faits, moins connus, se sont également déroulés: Rüthi, Graben et Verbois. Avec du recul, pensez-vous que sans Tchernobyl, il y aurait aujourd'hui plus de réacteurs en Suisse?

Je pense que oui. Harrisburg, Tchernobyl puis Fukushima montrent une chose: lorsqu'un évènement se produit, l'industrie nucléaire est immédiatement considérée comme coresponsable. Le diable se déchaîne partout, peu importent les circonstances de l'accident. Concernant Kaiseraugst: initialement, il était prévu de construire une centrale à mazout. Puis le projet s'est transformé en centrale nucléaire. Or Kaiseraugst n'était pas un site

adapté pour cela. En tant que porteuse du projet de Graben, BKW a fait en sorte que Kaiseraugst échoue. Mais le maître d'ouvrage de Kaiseraugst n'était pas prêt à y renoncer au profit de Graben. Et le canton de Berne ne voulait pas que Graben fasse simplement office de site de remplacement de Kaiseraugst; aucun réacteur n'a donc été construit là-bas non plus.

Sans Tchernobyl, le projet de Kaiseraugst serait allé plus loin. L'autorisation générale est remise en 1981. Une initiative contre la construction de Kaiseraugst est rejetée en 1984. Le gouvernement du canton de Bâle avait donc déjà bien à l'esprit que la nouvelle installation serait construite à Kaiseraugst. Mais après Tchernobyl, la construction est devenue politiquement impossible.

Les autres projets de Rüthi et de Verbois n'ont jamais été véritablement soutenus. En réalité, ils étaient en discussion simplement parce que la Confédération, dirigée à l'époque par le conseiller fédéral Bonvin, avait délivré plusieurs autorisations de sites «possibles». Mais il ne s'agissait en aucun cas de permis de construire. À l'époque, les autorisations générales, qui doivent être approuvées par le Parlement et la population, n'existaient pas.

Vous avez quitté la direction de l'OFEN en 2001. Avant votre départ, avez-vous encore travaillé sur des projets de nouvelles centrales nucléaires pour remplacer Gösgen, Beznau et Mühleberg?

J'ai participé à un projet en tant que conseiller. Je faisais partie du groupe chargé des travaux préparatoires, mais lorsque la partie technique a commencé, j'ai cessé d'intervenir. À l'époque, on pensait qu'il faudrait deux nouvelles centrales. Trois projets furent proposés en 2008, alors que l'acceptation du nucléaire avait progressé. On savait que deux seulement pourraient être menés, ce qui a donné lieu à une concurrence.

Puis en 2011, dans le sillage de l'accident de Fukushima, ces projets furent jetés aux orties quasiment du jour au lendemain. Comment avez-vous vécu cela? Vous attendiez-vous à ce qu'après l'accident, le Conseil fédéral opère une telle volte-face dans sa politique énergétique?

Pour commencer, de mon point de vue, la décision de sortir du nucléaire était peu réfléchie. Mais cela n'avait rien de surprenant dans le contexte de l'époque. Rappelez-vous que 2011 était une année d'élections. L'Alle-

magne a décidé d'abandonner le nucléaire alors même que juste avant, elle avait décidé de prolonger la durée d'exploitation de ses réacteurs. Mais après une défaite aux élections régionales, Angela Merkel décida soudain de changer de stratégie. Cela s'est passé de la même manière en Suisse. Les élections au Conseil national ont eu lieu fin 2011, et très vite, un parallèle avec l'Allemagne est apparu. Pour nous, la décision de sortir du nucléaire signifiait une dépendance plus importante vis-à-vis des importations d'électricité et des risques supplémentaires pour la sécurité de notre approvisionnement. De mon point de vue, cette décision n'était pas la bonne car la question n'est pas de choisir entre énergies renouvelables et énergie nucléaire, mais de combiner les deux.

Vous continuez à donner votre point sur la politique énergétique en général, et à soutenir publiquement l'énergie nucléaire. Pourquoi?

Je suis inquiet pour la sécurité de notre approvisionnement énergétique. L'avenir est électrique, et nous aurons de plus en plus besoin d'électricité. La protection du climat est également une cause qui me motive. Après l'hydraulique, le nucléaire est la forme de production d'électricité qui génère le moins de gaz à effet de serre. Il serait souhaitable que la politique tienne enfin compte des résultats des indices technologiques calculés sur la base d'analyses approfondies du cycle de vie. Je le regrette énormément, mais aujourd'hui, les politiques ne sont pas prêts à suivre la science si elle ne va pas dans leur sens.

Dans des articles récents, vous avez abordé la rentabilité de l'énergie nucléaire. Le fait que les centrales nucléaires soient coûteuses et non rentables fait partie des principaux arguments invoqués par les opposantes et opposants au nucléaire. Quel est votre point de vue à ce sujet?

Il s'agit là d'une formule stéréotypée de la branche électrique – bien sûr avant tout de la branche solaire – et de nombreux responsables de la politique énergétique. Le photovoltaïque serait la forme de production d'électricité la plus abordable, et le nucléaire serait trop coûteux. Mais si l'on fait vraiment le calcul, et je l'ai fait, la conclusion est bien différente: pour une production équivalente, le photovoltaïque nécessite une puissance installée bien supérieure à l'énergie nucléaire. Cela est d'autant plus vrai en hiver, lorsque l'enjeu est de produire suffisamment d'électricité. L'été, le

photovoltaïque produit du courant excédentaire qu'il est difficile de valoriser. Et la réponse est simple: si les installations solaires étaient si rentables, pourquoi devrions-nous les subventionner à hauteur de 60%? Et pourquoi la branche solaire demande-t-elle toujours plus de subventions? Sans compter que les coûts du stockage, de la régulation de plus en plus complexe du réseau et du développement de celui-ci ne sont absolument pas compris. Ainsi, l'affirmation selon laquelle le photovoltaïque est moins coûteux est fautive. Je peux également l'affirmer au regard de ma propre expérience avec mon installation photovoltaïque.

Vous avez abordé la thématique du stockage. L'énergie nucléaire fonctionne sans stockage et n'a pas besoin non plus d'une puissance de réserve. Les coûts du démantèlement et de la gestion des déchets sont inclus dans le prix de l'électricité. Existe-t-il une transparence des coûts comparable pour d'autres sources d'énergie, et quels autres facteurs devraient être pris en compte pour permettre une véritable comparaison des coûts totaux?

Avec les nouvelles énergies renouvelables – le photovoltaïque, l'éolien, la biomasse et la géothermie –, nous en sommes au même point que lorsque nous avons adopté la loi sur l'énergie atomique, il y a 60 ans. On a alors renoncé à des prescriptions sur la gestion des déchets au motif que l'on ne souhaitait pas entraver le développement du nucléaire. Aujourd'hui, nous faisons la même chose avec les énergies renouvelables. Ainsi, il n'existe aujourd'hui encore aucune technologie de recyclage établie, et la gestion des déchets n'est pas comprise dans les coûts.

Bien sûr, dans le cas du nucléaire, la quantité de déchets est faible, mais il s'agit en partie de matières très dangereuses. Toutefois, cette dangerosité décline au fur et à mesure que l'activité de la substance radioactive décroît. Dans le cas des énergies renouvelables, nous devons recycler et éliminer de grandes quantités de déchets, certes moins problématiques. Mais là encore, on reporte le problème pour ne pas entraver la technique.

Que pensez-vous des développements et des discussions en matière de politique énergétique, menés chez nos voisins? La Suisse peut-elle vraiment compter sur les importations d'électricité?

Les lignes directrices et les objectifs de la politique énergétique du Conseil fédéral reposent sur la Stratégie énergétique 2050, que nous avons approuvée, et sur les Perspectives énergétiques 2050. On part du principe ici que la Suisse pourra, à tout moment, importer suffisamment d'électricité. De mon point de vue, une telle conception est irresponsable. Car c'est de moins en moins le cas. L'Allemagne sort du charbon et du nucléaire, et elle n'est pas prête, en l'état actuel des choses, à revenir sur sa position concernant le nucléaire, y compris pour ses réacteurs encore en exploitation. De son côté, la France peine à renouveler son parc nucléaire.

Ainsi, la situation en Europe ne cesse de se dégrader, à moins que l'on décide de tout miser sur d'éventuelles futures centrales à charbon dans les pays de l'Est. Mais si c'est cela, l'objectif de la politique énergétique, alors très peu pour moi. Nous sommes déjà fortement dépendants des importations d'électricité en hiver, et parfois même à d'autres périodes de l'année. Les Perspectives énergétiques 2050 partent du principe que les centrales nucléaires sont arrêtées après 50 ans de fonctionnement, la phase la plus critique sera donc autour de 2035. Et elles supposent également qu'à cette date, 38,5% du courant consommé en hiver sera importé. Cela me paraît non seulement irréaliste mais aussi irresponsable. Contrairement à ce qu'on ne cesse d'entendre: on ne peut absolument pas affirmer que notre approvisionnement électrique soit garanti.

Comment percevez-vous la position de la Suisse dans les négociations sur l'accord sur l'électricité avec l'UE?

La Commission européenne a été très claire: pas d'accord-cadre, pas d'accord sur l'électricité. Il pourrait y avoir des accords techniques, mais ceux-ci ne sont pas dans l'intérêt de la Commission, et ils auraient de toute façon un effet plutôt limité. L'économie électrique suisse de même que Swissgrid se plaignent de plus en plus que la Suisse soit désavantagée. Or il nous est difficile de nous défendre car l'UE sait pertinemment que nous sommes dépendants en matière d'électricité. Et notre position ne cesse de se dégrader. Il serait une erreur de penser que l'UE a besoin de nous dans ce domaine.

Une initiative populaire sur la neutralité technologique dans le domaine de

l'approvisionnement d'électricité et sur l'interdiction de construire de nouvelles centrales est prévue. Pensez-vous que le moment soit venu de voter sur la sortie du nucléaire?

Plus le temps passe, plus on se rend compte que cela ne peut pas continuer ainsi. Le Conseil fédéral lui-même a adopté des mesures d'urgence telles que la mise en place d'une réserve hydroélectrique et a fait part de son souhait de construire des centrales à gaz. Cela témoigne de la volonté politique d'augmenter la capacité de production. L'initiative favorisera certainement le débat sur cette nécessité. Nous nous rendons compte progressivement que nous ne pouvons pas bâtir notre approvisionnement énergétique uniquement sur l'espoir que cela suffira.

Que pensez-vous que l'avenir réserve à l'énergie nucléaire en Suisse? Et inversement: que peut apporter l'énergie nucléaire à notre avenir?

Il est très clair que l'augmentation de la capacité de production est un sujet urgent et actuellement, seules les centrales nucléaires qui peuvent être utilisées entrent en ligne de compte, pas les futurs projets qui ne peuvent pas encore être construits en série. Concrètement, il s'agit des réacteurs de la génération III. Ceux-ci sont bien plus sûrs que les réacteurs actuels de la génération II. Nous avons rééquipé les centrales actuelles, elles sont sûres et peuvent continuer à fonctionner. Mais de nouvelles centrales seraient encore plus sûres. Les nouveaux réacteurs de la génération IV viendront, mais pour le moment, ils sont encore en développement et suscitent seulement des espoirs. La fusion est encore loin d'être prête pour la production commerciale, si toutefois elle l'est un jour. Je pense que la recherche sur la fusion va dans le bon sens, même si elle est coûteuse. Elle a déjà apporté énormément de connaissances en physique des plasmas. Mais je ne baserais pas un approvisionnement électrique sur la fusion.

Pour conclure: Je plaide en faveur d'une politique énergétique rationnelle qui repose sur trois piliers: l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire. Sortir du nucléaire est néfaste pour le climat. Et s'il y a bien une chose dont nous soyons certains, c'est que le photovoltaïque, l'éolien et les autres énergies renouvelables impactent bien plus le climat que l'énergie nucléaire, et encore plus que l'hydraulique. (M.R./C.B.)

L'innovation au service de l'efficacité et de la sécurité

Des méthodes de travail modernes, un employeur attractif et, avant tout, la sécurité des installations et de leur personnel: tels sont les points phares du programme d'innovation «Nuclear 4.0» d'Axpo. Les mesures doivent permettre de rendre encore plus sûr et plus rentable le fonctionnement des centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau.

Début janvier 2022, la centrale nucléaire de Leibstadt a suscité l'étonnement, alors qu'un robot quadrupède accompagnait l'équipe du programme d'innovation Nuclear 4.0 à l'intérieur de la centrale.

Le coup d'envoi du programme a été donné par le groupe Axpo, actionnaire principal de Leibstadt, désireux de faire progresser la numérisation et l'innovation. Des projets similaires sont menés dans d'autres divisions du groupe, tels qu'Hydro ou Grid. Désormais, la division Nuclear prend part au projet de manière systématique.

Le programme consiste à poursuivre l'optimisation des installations dans les domaines de la sécurité et de la rentabilité. «Nous voulons lancer de nouveaux projets parallèlement au fonctionnement des installations, développer des produits qui représenteront des avantages en termes de sécurité, de fiabilité, mais aussi de rentabilité. Dans un second temps, nous voulons aussi aborder le thème de la désaffectation des centrales nucléaires», explique Michael Kessler, chef Asset Management chez Axpo. Le groupe souhaite mettre en place une activité qui fera moins appel au personnel externe supplémentaire, et qui permettra de réduire les tâches manuelles grâce à l'automatisation et aux nouvelles technologies.

Tout a commencé lorsqu'il a été demandé à un collaborateur de constituer une petite équipe intéressée par la mise en œuvre d'applications innovantes dans les centrales nucléaires de Leibstadt et Beznau. À ce moment-là déjà, le principal défi résidait dans la disponibilité de ressources pour mener ce projet. Maintenant, il s'agit de passer à l'étape suivante et d'intégrer de nouvelles ressources. «Pour cela, nous misons sur une équipe organisationnelle propre composée de cinq membres», explique Michael Kessler. Celle-ci comprendra à la fois des personnes qui ne sont pas issues de la branche, et des collaborateurs et collaboratrices qui

participent déjà au projet. Le groupe travaillera à la fois sur les sites de Leibstadt et de Beznau, et au siège du groupe, à Baden.



Le robot Spot, mis au point par l'entreprise Boston Dynamics, a été testé à la centrale nucléaire de Leibstadt. (Photo: Axpo)

De nombreux défis

Il n'est pas simple de trouver les bonnes personnes: le responsable de l'équipe devra à la fois maîtriser l'informatique et le langage de l'industrie, et être capable d'aller vers les gens. Par ailleurs, l'exploitation sûre et fiable des centrales nucléaires revêt la priorité absolue aux yeux des collaborateurs et collaboratrices, et au premier abord, la nouveauté suscite de la méfiance. Michael Kessler en est conscient: «Très clairement, il y a des personnes sceptiques. Aller chercher les gens est un véritable challenge. Mais entre-temps, nous avons organisé des ateliers avec les collègues et la plupart comprennent l'utilité du programme Nuclear 4.0.»

Dans les centrales nucléaires, tout est prévu de A à Z, rien n'est laissé au hasard, et tous les risques sont cou-

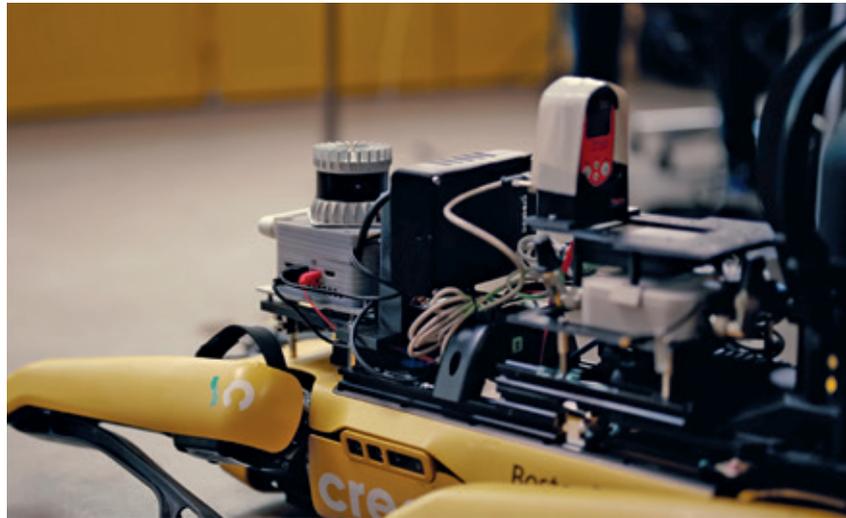
verts. Or l'équipe de projet adopte la démarche inverse: elle souhaite travailler de manière flexible et mise parfois sur une stratégie essais-erreurs. Ainsi, les défis sont avant tout de natures culturelle et humaine.

La sécurité revêt la priorité absolue

«Le fait que des robots puissent être utilisés dans les centrales nucléaires et que les processus soient numérisés ne doit pas inquiéter les collaborateurs et collaboratrices quant à leur avenir», explique M. Kessler. «Aujourd'hui, nous rencontrons plutôt le problème inverse: trouver les personnes compétentes. Ainsi, nous n'envisageons absolument pas de réduire le personnel.»

Les robots apportent une grande plus-value à la sécurité du personnel. Actuellement, les travaux de décontamination de surface nécessitent une protection intégrale. Mais des tests sont en cours à la centrale nucléaire de Beznau avec un robot de décontamination. Ceux-ci ont déjà livré des résultats très positifs. Un autre robot télécommandé, baptisé Spot et développé par Boston Dynamics, a été testé à Leibstadt durant deux semaines. Grâce à l'utilisation de capteurs, Spot est capable d'établir des cartes de rayonnement et de se déplacer dans l'installation en tant que système de caméra mobile. Une autre mesure de numérisation s'inscrivant dans le cadre de Nuclear 4.0 consiste à utiliser des drones pour réaliser des vols de contrôle dans les centrales nucléaires et pour fournir des images et des données.

«Ce sont bien sûr deux projets majeurs qui attirent beaucoup l'attention, ce qui est plutôt une bonne chose pour la visibilité et l'acceptation du projet. Mais il y a d'autres thèmes relatifs à la numérisation qui sont peut-être moins voyants, mais qui pourraient apporter un plus grand bénéfice encore», explique M. Kessler. L'employé veut parler ici de l'utilisation de tablettes. Aujourd'hui, les personnes qui se rendent dans l'installation doivent emporter une documentation papier qui décrit les composants et l'historique de maintenance. Ils doivent également consigner ultérieurement leurs actions par écrit. Une tablette permettrait de simplifier les choses.



Le robot sert de système de support à différents outils. (Photo: Axpo)

Un employeur attractif

Nuclear 4.0 permettra également d'accroître notre attractivité en tant qu'employeur, et de donner une image plus moderne. «Le recrutement de nouveaux collaborateurs et nouvelles collaboratrices représentera un défi dans le futur. Mais Michael Kessler est convaincu que les jeunes sont très enthousiastes à l'idée de pouvoir évoluer dans un nouveau domaine d'activité. «Le fait de pouvoir participer à des projets de développement pionniers suscite d'emblée une certaine attractivité.»

L'équipe de Michael Kessler devra encore relever de nombreux défis dans le cadre du projet de numérisation. Mais au final, celui-ci permettra d'accroître la rentabilité, l'efficacité et la sécurité des centrales nucléaires. À la question de savoir si cela vaut la peine de faire avancer l'innovation et la numérisation dans les centrales nucléaires si celles-ci ont de toute façon une date d'exploitation limitée, Michael Kessler répond: «Oui, cela a du sens. Beznau sera la prochaine centrale à être déconnectée du réseau, mais dans une dizaine d'années seulement. Après, il faudra encore désaffecter et démanteler l'installation. Tout le temps nécessaire pour développer des technologies innovantes.» (A.D./C.B.)

Des centrales nucléaires pour produire de l'électricité, mais aussi de la chaleur et de l'hydrogène

Les modifications apportées aux réseaux électriques en raison du développement des énergies renouvelables volatiles et les exigences de réduction des énergies fossiles de la politique climatique posent de nouveaux défis aux réacteurs du futur. Un groupe d'experts de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE a fait le point sur les avantages offerts par les systèmes flexibles et avancés des générations III et IV.

Les auteurs du rapport publié l'an dernier, intitulé «Advanced Nuclear Reactor Systems and Future Energy Market Needs», regrettent que les possibilités d'utiliser les réacteurs nucléaires à d'autres fins que la production d'électricité soient si peu abordées dans les discussions politiques et dans les scénarios internationaux de décarbonation. Or en combinaison avec les énergies renouvelables volatiles, ceux-ci pourraient répondre aux besoins de secteurs complexes tels que l'industrie lourde et les transports.

On peut lire dans le rapport que les systèmes d'approvisionnement électrique du futur seront davantage polyvalents que ceux d'aujourd'hui. «Premièrement, la part croissante des énergies renouvelables volatiles entraînera un besoin supplémentaire en production d'électricité flexible. Deuxièmement, l'augmentation du nombre de véhicules électriques, les changements apportés à la gestion de la charge et le besoin en capacités de stockage [...] pourraient nécessiter une utilisation plus importante des centrales nucléaires, malgré une plus grande part, aussi, d'électricité volatile sur le réseau.

Capacité au suivi de charge

En premier lieu, on attend d'un réacteur avancé qu'il fonctionne en suivi de charge, autrement dit: qu'il soit capable de compenser les fluctuations des énergies renouvelables et de maintenir la stabilité du réseau et de la fréquence. Tandis que les réacteurs de la génération II étaient conçus pour le fonctionnement en charge de base, la plupart des systèmes de la génération III/III+ doivent avant tout pouvoir satisfaire les exigences variables des exploitants de réseau. Ainsi, depuis 2001, l'organisation EUR (European Utility Requirements) demande que les nouveaux réacteurs puissent produire de l'électricité de manière durable avec des charges comprises entre 50 et 100% de la puissance installée, répondre à des manœuvres de suivi de charge planifiées

ou non planifiées, et garantir le réglage primaire afin de stabiliser la fréquence à $\pm 2\%$ de la puissance installée. D'après le rapport, les types AP1000 de Westinghouse, VVER-1200 de Rosatom, EPR de Framatome et le type japonais ABWR sont aujourd'hui homologués en la matière. Toutefois, les auteurs soulignent que des réacteurs de la génération II peuvent aussi fonctionner en suivi de charge, comme cela est le cas depuis des décennies en France et en Allemagne.

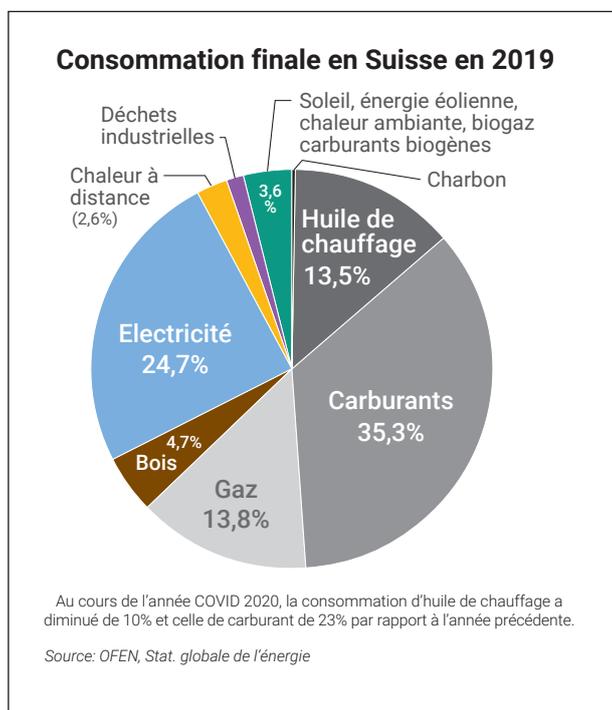
S'ils sont connectés au réseau en nombre suffisant, les petits réacteurs modulaires (SMR), qui connaissent aujourd'hui un développement fulgurant seront, eux aussi, en mesure de compenser les énergies volatiles. D'après le rapport, la génération IV, également en développement devra, elle aussi, offrir un fonctionnement flexible, en dépit de ses avantages pour les applications non électriques.

Une utilisation importante des centrales nucléaires, malgré tout

Si les centrales nucléaires nécessitent des investissements importants, leurs coûts d'exploitation sont plus bas que ceux des centrales fossiles. C'est donc lorsqu'elles fonctionnent à pleine puissance qu'elles sont les plus rentables. Pour les auteurs, les modes de fonctionnement flexibles peuvent impacter la rentabilité en raison d'une utilisation limitée et de coûts d'entretien élevés dus à une charge matérielle importante, en particulier lorsqu'il n'est pas possible parallèlement de réaliser des économies sur le combustible. Le rapport étudie donc les possibilités de maintenir un niveau d'utilisation élevé des réacteurs malgré l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau. Les besoins de la politique climatique offrent ici de nombreuses options.

La chaleur nucléaire pour les applications non électriques

La demande en chaleur représente plus de la moitié du besoin mondial en énergie finale (chiffres de 2018). C'est bien plus que l'énergie consommée par le secteur des transports (29%) et la production d'électricité (21%). Près des trois quarts du besoin en chaleur étant couverts par les combustibles fossiles, le marché de la chaleur génère 40% des émissions mondiales de CO₂. Les secteurs du bâtiment et l'industrie présentent à eux deux le besoin en chaleur le plus élevé (96%, à peu près à parts égales). Cela pourrait offrir de bonnes perspectives aux centrales nucléaires, par exemple en Suisse, où près des deux tiers du besoin en énergie – notamment pour la chaleur et les transports – sont toujours couverts par des agents énergétiques fossiles.



D'après le rapport, l'étude EUROPAIRS, réalisée par l'UE en 2011, a montré que la majeure partie du marché de la chaleur concernait des températures inférieures à 550 °C et supérieures à 1000 °C, et que seuls quelques procédés portaient sur la plage intermédiaire (p. ex. pour

la production de gaz industriels ou la chaux calcinée). Le besoin en chaleur inférieure à 550 °C est généré par les raffineries (250–550 °C), l'industrie chimique et les réseaux de chaleur à distance (inférieure à 250 °C).

Les applications en dessous de 300 °C

Les réacteurs conventionnels des générations II/III/III+ délivrent généralement de la vapeur autour de 300 °C, températures adaptées aux réseaux de chaleur à distance. D'après le rapport, en 2019, 68 centrales nucléaires en service commercial dans onze pays, dont celle de Beznau, ont fourni de la chaleur à des fins de chauffage. Les expériences dans ce domaine ont montré que la chaleur à distance nucléaire est rentable, sûre et bien acceptée par les consommateurs finaux.

De nombreux SMR sont également adaptés à cette production. Ils présentent par ailleurs l'avantage de pouvoir être plus proches des agglomérations en raison de leurs caractéristiques de sécurité. Ainsi, la Chine prévoit d'utiliser son réacteur à lit de boulets pour produire à la fois de l'électricité et de la chaleur à distance.

Les températures inférieures à 300 °C peuvent également être utilisées dans des process industriels. Le rapport cite ici la centrale nucléaire de Gösgen, qui fournit de la chaleur de process à une usine de carton et de papier. Les auteurs estiment que la production combinée d'électricité et d'un produit industriel permet d'alterner de manière flexible entre fourniture d'électricité et production industrielle (stockable).

Enfin, les basses températures peuvent être utilisées pour le dessalement de l'eau de mer. Le rapport cite ici une installation à Aqtau (Kazakhstan), arrêtée entre-temps qui, durant 26 ans, a été couplée à un surgénérateur à métal liquide du type BN-350 d'une puissance thermique de 1000 MW.

Les applications au-dessus de 300 °C

Les six systèmes de la génération IV sélectionnés au niveau international et encore en développement entrent en jeu à ces températures. Ils fournissent des températures bien plus élevées que les réacteurs commerciaux conventionnels (cf. encadré «La génération IV pour les températures élevées»). Outre les nombreuses possibili-

tés d'utilisation dans le secteur industriel, le rapport met l'accent sur leur utilisation pour produire de l'hydrogène décarboné, en tant qu'alternative aux procédés de production actuellement très émetteurs, pour remplacer des carburants et combustibles fossiles, et pour le stockage de l'énergie sur le long terme.

Focus sur l'hydrogène décarboné

À ce jour, l'hydrogène est utilisé essentiellement dans l'industrie, et en particulier en chimie, dans les raffineries de pétrole et dans la production d'acier. Dans le futur, il pourrait aussi s'imposer en tant qu'agent énergétique – par exemple pour être mélangé au gaz naturel ou encore pour les piles à combustible dans les poids lourds et les camionnettes, et dans les navires. D'après les auteurs du rapport, cela imposera toutefois d'adapter les stratégies de politique énergétique et d'encourager les avancées technologiques. Mais pour parvenir à une économie fondée sur l'hydrogène, deux défis devront être relevés: l'un concerne le développement de l'infrastructure requise, l'autre le prix et l'efficacité énergétique, actuellement réduite, de la production d'hydrogène. Pour les auteurs, à l'heure actuelle, il n'est pas certain que ce combustible soit un jour compétitif.

La seule méthode éprouvée (mais coûteuse!) de production d'hydrogène à partir de l'eau est l'électrolyse à basse température. L'accent est donc mis aujourd'hui sur deux aspects: le développement de l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température qui, avec un rendement électrique de 80%, est plus intéressante que l'électrolyse basse température (rendement de 70%). Mais celle-ci nécessite des températures d'exploitation élevées, comprises entre 650 et 1000 °C. La seconde démarche concerne le développement de procédés thermochimiques, et en premier lieu d'un cycle basé sur l'acide sulfurique et l'iode comme catalyseurs, qui nécessitent là encore des températures élevées, comprises entre 800 et 900 °C. Cette plage de températures peut être atteinte avec certains des réacteurs de la génération IV, notamment le VHTR.

La génération IV pour les températures élevées

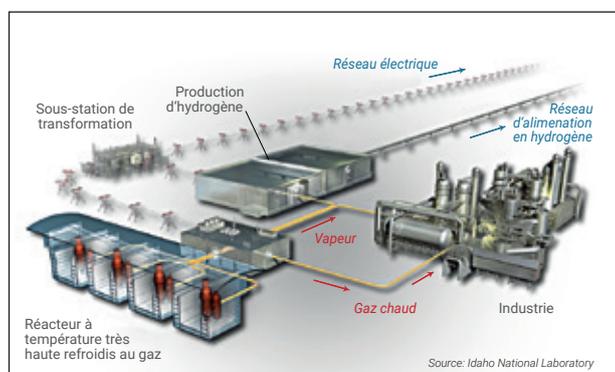
Euratom et 13 pays (dont la Suisse) se sont regroupés dans le cadre du «Generation IV International Forum» (GIF). L'objectif du GIF est de développer de nouveaux réacteurs et cycles du combustible qui permettront de réduire massivement la consommation en ressources ainsi que la quantité des déchets radioactifs produits, pour la période après 2040. Ces systèmes de la génération IV possèdent des températures de sortie élevées:

- de 480 à 570 °C pour le surgénérateur refroidi au plomb (Lead-cooled Fast Reactors, LFR: développement des petits réacteurs actuels destinés à la propulsion navale) avec des températures potentiellement bien plus élevées grâce à l'utilisation de matériaux adaptés;
- de 500 à 550 °C pour le surgénérateur refroidi au sodium (Sodium-cooled Fast Reactors, SFR: développement de systèmes éprouvés depuis des décennies);
- jusqu'à 625 °C pour le réacteur à eau légère avec vapeur supercritique (Super-Critical Water-cooled Reactors, SCWR: développement des réacteurs à eau bouillante actuels);
- autour de 750 °C pour le réacteur à sels fondus (Molten Salt Reactor, MSR: un réacteur expérimental était en exploitation aux États-Unis dans les années 1960);
- jusqu'à 850 °C pour le surgénérateur refroidi au gaz (Gas-cooled Fast Reactors, GFR: développement des réacteurs britanniques Magnox et AGR);
- 1000 °C pour le réacteur à très hautes températures (Very-High Temperature Reactor, VHTR: développement des réacteurs haute température actuels tels que le réacteur à lit de boulets).

Tous ces systèmes ont en commun de poser des exigences élevées en matière de technique des matériaux. Actuellement, le développement du SFR et du VHTR revêt la priorité absolue. Dans le cadre de ce dernier, le GIF étudie en parallèle des méthodes de production d'hydrogène.

La production d'hydrogène est possible déjà aujourd'hui

Les auteurs du rapport estiment que l'hydrogène permettrait de réduire massivement les émissions de CO₂ aujourd'hui déjà. Ainsi, les centrales nucléaires actuelles, qui fonctionnent de manière abordable grâce à l'exploitation à long terme, pourraient produire de l'hydrogène grâce au procédé éprouvé de l'électrolyse basse température lorsque la demande est faible et que les prix sont bas (cf. encadré «Les États-Unis investissent des milliards dans l'hydrogène «vert»»). Par la suite, elles pourraient être remplacées par des procédés haute température et des réacteurs de la génération IV. Si l'hydrogène parvient à s'imposer en tant qu'agent énergétique, la demande augmentera fortement. Pour les auteurs, cela promet un avenir radieux aux réacteurs nucléaires, utilisés en combinaison avec les énergies renouvelables. (M.S./C.B. d'après le rapport «Advanced Nuclear Reactor Systems and Future Energy Market Needs» de 2021 de l'AEN)



Une proposition en provenance des États-Unis pour une utilisation flexible de l'énergie nucléaire: les réacteurs refroidis au gaz à très hautes températures pourraient produire de manière simultanée ou alternée de l'électricité, de l'hydrogène et de la chaleur de process destinée à l'industrie.

Les États-Unis investissent des milliards dans l'hydrogène «vert»

Quelques jours après le lancement d'un plan de six milliards de dollars visant à soutenir la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires actuelles, le Département américain de l'énergie (DOE) a lancé un programme de plusieurs milliards pour développer l'hydrogène propre à partir de l'électrolyse. Quelque huit milliards seront investis dans le développement de centres régionaux d'hydrogène destinés à l'industrie, un milliard dans un programme de réduction des coûts de la production d'hydrogène décarbonée, et 500 millions dans des initiatives visant à encourager la production et le recyclage d'hydrogène propre.

Cette politique a pour but de réduire, en une décennie, les coûts liés à la production d'un kilogramme d'hydrogène à un dollar. Le DOE estime que «cela rendra possible la production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables, notamment du solaire, de l'éolien et du nucléaire».

Dans le cadre de ce programme, le 8 octobre 2021, le département a accordé 20 millions de dollars à un projet de démonstration portant sur la production et le stockage de l'hydrogène à la centrale nucléaire de Palo Verde, dans l'Arizona. L'hydrogène stocké permettra de produire de l'électricité lorsque la demande sera élevée. Il sera également utilisé pour la fabrication de produits chimiques et de combustibles.

Enfermer les déchets dans une roche synthétique

L'entreprise canadienne Terrestrial Energy envisage d'enfermer les déchets produits dans son réacteur de la génération IV dans une roche synthétique, avant de les placer dans un dépôt en couches géologiques profondes. La méthode a été mise au point par le centre de recherche nucléaire australien Ansto en tant qu'alternative à la vitrification.

Un réacteur nucléaire produit fondamentalement des déchets. Les réacteurs avancés de la génération IV doivent permettre de préserver les ressources en combustible et même, dans certains cas, de fermer le cycle du combustible. Toutefois, des déchets radioactifs sont générés quoiqu'il en soit, en plus ou moins grandes quantités et avec une toxicité plus ou moins élevée selon le type de réacteur. Ces déchets doivent faire l'objet d'une gestion appropriée. Ainsi, les développeurs de réacteurs se posent, en amont, la question de la gestion du futur combustible usé.

Préparer les déchets en vue de leur stockage

Les concepts de réacteurs avancés prévoient le retraitement et la récupération des différentes parties qui composent le combustible mais aussi la gestion sûre des déchets résiduels dans un dépôt en couches géologiques profondes. Les déchets seront alors enfermés dans le sol, en profondeur, ce qui permettra de protéger l'homme et l'environnement. Avant cela, ils devront toutefois être «conditionnés», c'est-à-dire préparés en vue

de leur stockage dans une forme qui résiste à une humidité importante, à la chaleur et au rayonnement.

La vitrification est une des méthodes de préparation des matières hautement radioactives au stockage final. Elle est utilisée à l'échelle industrielle avec les déchets issus du retraitement des assemblages combustibles usés. Une fois les matières recyclables extraites, par exemple l'uranium 235, l'uranium 238 et le plutonium 239, des matières contenant des produits de fission demeurent, et celles-ci doivent faire l'objet d'une gestion spécifique. Ces déchets résiduels sont alors mélangés à du verre borosilicaté, sont fondus et sont coulés dans des coquilles cylindriques en acier. On obtient ainsi un verre qui restera stable durant des dizaines de milliers d'années. La résistance physique et chimique de ce verre à l'eau qui pourrait être présente dans le dépôt profond revêt une importance majeure. Les déchets vitrifiés doivent ainsi pouvoir résister à toute dissolution due à la corrosion et à la lixiviation. La matrice du verre est une des nombreuses barrières de sûreté du dépôt.



Coup d'œil à l'intérieur de l'installation de démonstration Synroc d'Ansto. La forme de déchets Synroc destinée au stockage final (boîtes en acier à gauche de l'image) est fabriquée par pressage isostatique à chaud. (Photo: Ansto)

La gestion des déchets issus du réacteur à sels fondus

L'Australian Nuclear Science and Technology Organisation (Ansto) a développé une autre méthode de confinement des déchets radioactifs, qui présente plusieurs avantages par rapport à la vitrification. Et début 2022, l'entreprise canadienne Terrestrial Energy a annoncé qu'elle souhaitait recourir à cette méthode pour les déchets qui seront produits dans son réacteur à sels fondus, l'Integral Molten Salt Reactor (IMSR; cf. encadré). L'IMSR est un réacteur de la génération IV qui utilise des sels fondus comme combustible. Après sept ans de fonctionnement, le cœur doit être arrêté et les déchets être conditionnés en vue d'une gestion adaptée.

Ansto souhaite enfermer les déchets moyennement et hautement radioactifs produits dans l'IMSR dans une roche synthétique – avant tout céramique – baptisée «Synroc» (cf. encadré). Le confinement des déchets dans la céramique permet d'immobiliser les parties rayonnantes de manière durable, de gérer les déchets sur le long terme et de manière sûre, et de garantir que ceux-ci n'interagissent pas avec l'habitat humain. D'après Terrestrial Energy, le volume de déchets à gérer ici est considérablement réduit par rapport à d'autres méthodes, ce qui permet de faire baisser à long terme les coûts liés au cycle de vie. →



La boîte en acier à gauche est remplie des composants du Synroc et des déchets radioactifs qui doivent être stockés. La boîte est comprimée sous l'effet du pressage isostatique à chaud (au centre de l'image) et on obtient une céramique extrêmement dense. Le dessin à droite correspond à la roche synthétique Synroc (noire) présente dans la boîte comprimée. (Photo: Ansto)

Qu'est-ce que le Synroc et comment se passe l'enfermement des déchets?

Le Synroc est une roche synthétique, avant tout céramique, constituée de plusieurs minéraux naturels à base de titane. Il a été inventé en 1978 par l'Australian National University. L'objectif était d'enfermer les déchets radioactifs dans le Synroc et d'obtenir un résultat final qui présente une meilleure résistance à la lixiviation aux eaux souterraines que les déchets enfermés dans du verre borosilicaté. Dans un dépôt profond, le Synroc et les déchets qu'il contient devront rester stables durant plus d'un million d'années. Mais malgré les nombreux avantages offerts par le Synroc et les avancées réalisées, la vitrification reste la méthode utilisée à grande échelle.

Sur son site internet, la World Nuclear Association (WNA) propose une présentation du Synroc: la forme d'origine, le Synroc-C, permettait d'enfermer les déchets liquides hautement radioactifs issus du retraitement du combustible utilisé des réacteurs à eau légère dans une structure cristalline. Le Synroc-C se composait principalement de minéraux titanifères: la hollandite ($\text{BaAl}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$), le zirconolite ($\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$), la perovskite (CaTiO_3) et le rutile (dioxyde de titane, TiO_2). Le zirconolite et la perovskite sont les principaux hôtes des actinides à longue durée de vie tels que le plutonium (Pu), et la perovskite fixe avant tout le strontium (Sr) et le barium (Ba). La hollandite fixe essentiellement le césium (Cs), mais aussi le calium (K), le rubidium (Rb) et le barium. Le Synroc-C permet d'inclure dans sa composition initiale jusqu'à 30% massique de déchets de haute activité, soit davantage que dans le cas de la vitrification.

Une adaptation du Synroc en fonction des déchets

Depuis les années 1980, Ansto poursuit le développement de la composition de la céramique, qu'il a adaptée en fonction des déchets concernés et des impuretés qu'ils contiennent. Ainsi, la quasi-totalité des éléments contenant des déchets hautement radioactifs peuvent être enfermés dans du Synroc, y compris ceux qui représentent un défi pour le verre borosilicaté ou l'opération de vitrification. La faible solubilité des actinides mineurs dans la matrice du verre et la stabilité thermique limitée de ce dernier constituent ainsi les pierres d'achoppement de la gestion des déchets à forte teneur en actinides. Les composants de la forme d'origine Synroc-C et les pyrochlores contenus dans le Synroc actuel (Ca, Gd, U, Pu, Hf)₂Ti₂O₇ prouvent depuis plus de dix millions d'années, et à l'état naturel, qu'ils peuvent absorber les actinides.

Autre avantage du Synroc: il ne représente pas de risque de prolifération puisqu'il est difficile d'en extraire le plutonium ou l'uranium hautement enrichi (UHE). Par ailleurs, il peut contenir un plus grand pourcentage massique de déchets que le verre. Le Synroc possède une grande résistance thermique et peut, par exemple, enfermer des concentrations élevées de césium et de strontium. Généralement, les formes de déchets céramiques se distinguent aussi par leur résistance chimique exceptionnelle et, ainsi, par une stabilité sur le long terme bien plus importante que le verre borosilicaté (en partie composé d'additifs).

Dans le cadre de la gestion des déchets conformément au programme de gestion du plutonium en vigueur aux États-Unis, une variante au Synroc comportant de nombreux pyrochlores a été mise au point, avec notamment de l'uranium 238 et les absorbeurs de neutrons gadolinium et hafnium. Le plutonium 239 enfermé dans le Synroc ou l'uranium 235 issu de sa désintégration peuvent être lixiviés à l'eau en très petites quantités. Les deux isotopes fissiles pourraient alors s'accumuler dans le dépôt, ce qui représenterait un risque de criticité. Afin d'éviter cela, le plutonium est éliminé avec l'uranium 38 (issu des pyrochlores), lequel «dilue» isotopiquement l'uranium 235 produit. Les absorbeurs de neutrons gadolinium et hafnium, contenus dans les pyrochlores,

possèdent des taux de lixiviation similaires à celui du plutonium et peuvent ainsi intervenir pour prévenir tout risque de criticité. Par ailleurs, ils réduisent la dose d'exposition au rayonnement du personnel.

Une technologie en perpétuel développement

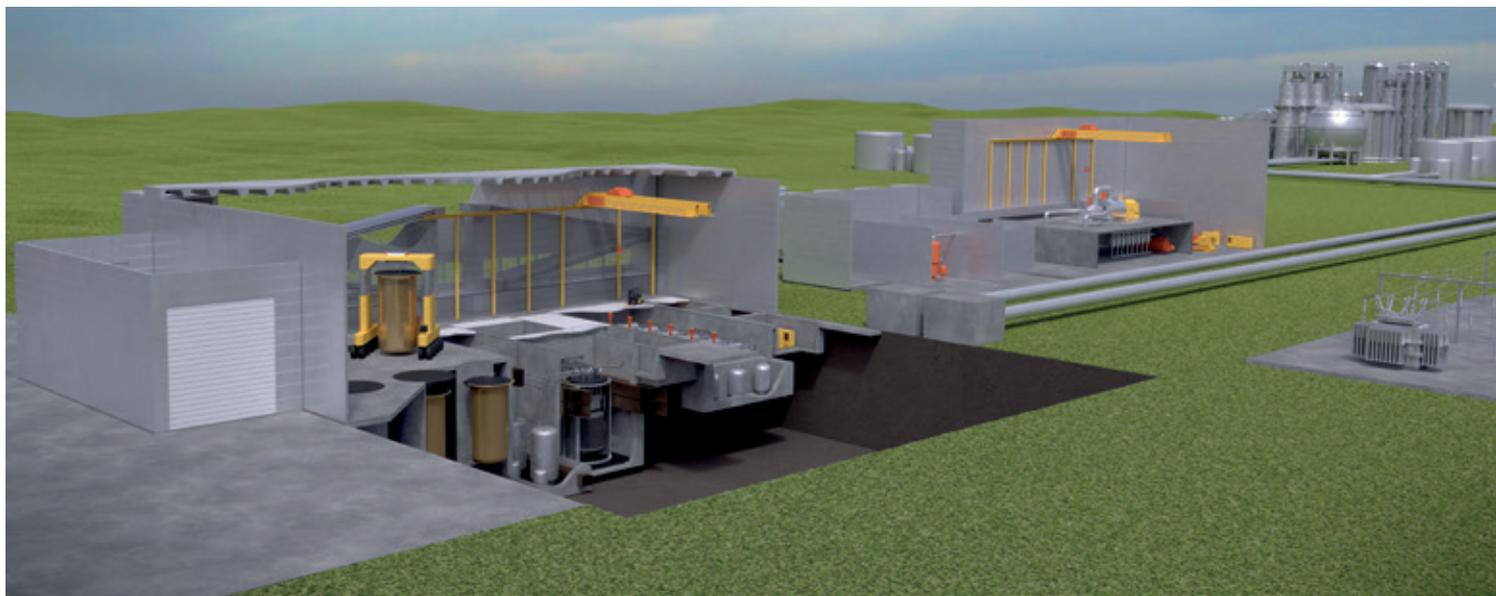
Une des caractéristiques majeures de la vitrification est qu'elle est testée depuis déjà des décennies à l'échelle industrielle. Afin de combiner les avantages des deux matériaux, Ansto a également mis au point, en plus des formes purement céramiques, une combinaison de Synroc et de verre. Ici, les substances radioactives sont contenues dans le zirconolite et les pyrochlores, extrêmement résistants, qui sont, à leur tour, enfermés dans la matrice de verre.

Les scientifiques d'Ansto sont sur le point de démontrer que la technologie fonctionne également à l'échelle industrielle: en décembre 2021, Ansto a achevé une installation Synroc près de Sydney, dans laquelle seront enfermés les déchets liquides de moyenne activité issus de la production – interne – de molybdène 99.

Ansto ne cesse de développer la technologie Synroc, qui pourrait jouer un rôle majeur également avec les réacteurs de la génération IV tels que le réacteur à sels fondus, et les déchets de graphite et de sels qui en sont issus.

Obtenir de la céramique par chauffage et pression

Pour fabriquer les formes de déchets Synroc à longue durée de vie, Anso utilise un procédé éprouvé: le *Hot isostatic pressing* (HIP), ou pressage isostatique à chaud. Pour faire simple: il s'agit de fabriquer une céramique extrêmement dense et d'une résistance mécanique exceptionnelle par pressage et frittage simultanés à chaud des matières de base – les composants, optimisés, du Synroc et les déchets radioactifs enfermés. Cette opération se déroule dans un conteneur métallique à paroi mince (une «boîte», p. ex. en acier inoxydable, en acier non allié ou en nickel), dans lequel la céramique restera ensuite enfermée. Toutefois, le volume de la céramique finale après pressage étant inférieur à celui des matières de départ, le conteneur est, à son tour, compacté, ce qui lui permet de prendre moins



Représentation photoréaliste de l'IMSR de Terrestrial Energy. À gauche: les cœurs de réacteur interchangeables. (Photo: Terrestrial Energy)

de place lors de l'entreposage et du stockage final. Plus l'encombrement des déchets dans le dépôt profond sera réduit, plus le volume des galeries à construire dans la roche sera faible, ce qui permettra aussi de faire baisser les coûts de la construction du dépôt.

Pour que le pressage isostatique à chaud soit efficace, les matières de base doivent, dans un premier temps, être calcinées, par exemple dans un four rotatif. Ce traitement thermique consiste à presser les déchets radioactifs liquides afin de les déshydrater et à séparer certains composants sous l'effet de la chaleur.

Ansto décrit le processus de fabrication de la céramique en ces termes:

«Dans le cadre du pressage isostatique à chaud de céramique ou de vitrocéramique, la forme réactive calcinée des déchets (= déchets et additifs) constitue le matériau de départ. La calcination permet d'éliminer le risque d'une formation de gaz importante durant la solidification à chaud du matériau conditionné dans la boîte HIP. Dans un premier temps, le calcin est placé dans une boîte métallique. Un vide est alors appliqué à cette boîte

et, dans certains cas, celle-ci est chauffée entre 200 et 600 °C pendant plusieurs heures afin d'en éliminer les gaz absorbés au cours du bref contact avec l'air humide.



Informations complémentaires:



Vidéo YouTube sur Synroc (en anglais).



Document PDF sur le cycle du combustible de l'IMSR (en anglais).

La boîte est ensuite scellée et comprimée à pleine densité sous l'effet de plusieurs dizaines de mégapascals d'argon gazeux [soit une haute pression] pendant le cycle thermique. La solidification qui suit se déroule le plus souvent à des températures comprises entre 1000 et

1300 °C, l'apport de chaleur se faisant alors à l'extérieur de la boîte et une pression de jusqu'à 100 MPa étant alors appliquée.» (B.G./C.B. d'après la WNA, Synroc Wasteform, d'avril 2019; l'Ansto, page internet sur le Synroc, et d'autres sources)

Conception et fonctionnement du réacteur à sels fondus IMSR

L'Integral Molten Salt Reactor (IMSR) développé par Terrestrial Energy est un réacteur haute température à neutrons thermiques, modéré au graphite. Le combustible (liquide) dissout dans les sels fondus fait partie du circuit du combustible, il circule dans le cœur du réacteur. Il s'agit du circuit de refroidissement primaire. Le combustible de départ peut être, par exemple, de l'uranium légèrement enrichi (teneur en U-235 < 2%) auquel est ajoutée une faible quantité d'uranium faiblement enrichi (teneur en U-235 < 5%) pendant le fonctionnement du réacteur. L'uranium faiblement enrichi est le combustible utilisé de manière standard dans les réacteurs à eau légère actuels, et il est facilement disponible. Il est présent sous la forme de tétrafluorure d'uranium (UF_4) et est mélangé à d'autres sels. L'IMSR peut également fonctionner avec des assemblages combustibles usés issus des réacteurs à eau légère, non retraités. Pour le circuit de refroidissement secondaire, Terrestrial Energy utilise également des sels fluorures liquides.

Dans les réacteurs à sels fondus, le retraitement des sels se fait normalement de manière continue, ce qui permet de retirer les produits de fission absorbateurs de neutrons au fur et à mesure durant le

fonctionnement. Mais, afin de simplifier l'installation et les manipulations, l'IMSR ne propose pas de retraitement intégré au fonctionnement.

Le graphite (modérateur) contenu dans le cœur du réacteur possède une durée de vie limitée et il doit être remplacé après sept ans, avec d'autres pièces. À cette occasion, le cœur est remplacé dans son intégralité. Pour Terrestrial Energy, différentes possibilités s'offrent concernant la gestion du combustible usé: soit les sels fondus peuvent être utilisés pour plusieurs cycles de sept ans, soit ils peuvent être retraités, par exemple dans le but de séparer les transuraniens en vue de leur réutilisation, ce qui permet d'obtenir un cycle du combustible pour ainsi dire fermé. Ils peuvent aussi être retirés en vue de leur gestion après un seul cycle de fonctionnement. Quoiqu'il en soit, des déchets radioactifs sont produits et ils doivent faire l'objet d'une gestion appropriée.

La centrale de Terrestrial Energy peut servir à la production d'électricité et au stockage thermique de l'énergie, mais elle peut aussi fournir de la chaleur de process et participer à la production d'hydrogène, de carburants synthétiques, d'ammoniac, et à la désalinisation de l'eau de mer.

«Un recul de la culture antinucléaire dominante»

Fervente adepte de l'énergie nucléaire, Anna Veronika Wendland, dont le nom est désormais connu bien au-delà des frontières allemandes, a publié un ouvrage éloquent sur le débat autour du nucléaire au printemps 2022. Elle était l'invitée du Forum nucléaire suisse à l'automne dernier. L'écrivaine souhaitait présenter la technique nucléaire de manière à rendre (à nouveau) possible une évaluation rationnelle des chances et des risques qui lui sont associés. Objectif atteint! Elle propose ici une nouvelle référence dans la littérature allemande sur le sujet.

L'ouvrage est passionnant notamment parce qu'il raconte comment d'ancienne militante antiatome, Anna Veronika Wendland est devenue une fervente adepte de la technologie, en retraçant son parcours personnel: «À l'école, tout le monde était de gauche, et opposé au nucléaire. Seule une poignée de représentants de jeunes lycéens de la Schüler Union – cheveux bien coupés, pantalons forme carotte, pull-overs jaune clair, et destinés à l'économie d'entreprise – soutenait le nucléaire.»

À la fin des années 1980, Anna Veronika Wendland part à Kiev dans le cadre d'un semestre d'échange et commence à s'intéresser à Tchernobyl et à la technologie nucléaire de manière générale. Les premiers doutes commencèrent alors à émerger, et ils ne cessent de se renforcer au fil des années. Sa thèse d'habilitation sur le cadre de vie dans les villes nucléaires d'Europe de l'Est fit de la jeune historienne des techniques une spécialiste reconnue de la technologie et de son histoire. Dans son livre, Anna Veronika Wendland montre avec conviction comment la critique sociétale de la technique nucléaire se transforma au fil du temps en une véritable culture antinucléaire dominante dans l'espace germanophone. Du cours de confirmation aux documentaires télévisés diffusés aux heures de forte audience en passant par les salles de classe: les récits négatifs sur l'énergie nucléaire étaient, et sont encore, omniprésents dans la société allemande, et ils ne rencontrent quasiment aucune opposition. Mais Anna Veronika Wendland parvient à réfuter avec habileté toutes ces allégations en s'appuyant sur le discours historique et sur ses propres expériences. La force du livre tient avant tout au fait qu'il ne s'agit pas d'une dissertation. Pour remettre en question les mythes les plus répandus sur le rayonnement radioactif, l'auteur s'appuie sur son vécu au sein d'une centrale nucléaire.

Pour autant, l'ouvrage ne se limite pas à des analyses historiques isolées. Il présente plutôt, de manière concise et sans ménagement, les faiblesses du tournant énergétique allemand. De nombreuses critiques s'appliqueraient d'ailleurs aussi à la Suisse. La spécialiste regrette la mise en concurrence permanente des énergies renouvelables et du nucléaire, et démonte habilement les nombreuses études qui dénigrent l'énergie nucléaire en s'appuyant sur des considérations douteuses quant à leur rentabilité. Pour autant, Anna Veronika Wendland n'épargne pas la branche nucléaire: pour elle, la communication très réservée des exploitants dans les années 70 et 80 a contribué à l'émergence d'un vide d'informations et de connaissances au sein de la population, qui a ensuite été exploité par les opposantes et opposants au nucléaire. Nous en ressentons les conséquences encore aujourd'hui dans le discours nucléaire.

Anna Veronika Wendland ne se borne pas à critiquer la culture antinucléaire dominante, mais elle oppose celle-ci à un modèle futur alternatif. Ainsi, elle mentionne une nouvelle stratégie énergétique allemande qui intégrerait l'énergie nucléaire. Cela rappelle sans doute des choses aux lectrices et lecteurs attentifs du Livre blanc du Forum nucléaire suisse. La spécialiste prévoit pour son pays un retour progressif à la tradition créative pragmatique basée sur l'ingénierie, et, par-là, un recul de cette culture antinucléaire dominante qui sonnera le glas de la parenthèse de l'idéalisme éco-romantique. Nous pouvons donc espérer à l'avenir un plus grand sens des réalités chez nos voisins du nord. Cela profitera assurément au climat et à la sécurité de l'approvisionnement en Europe. (L.A./C.B.)

Anna Veronika Wendland (2022): Atomkraft? Ja bitte! Klimawandel und Energiekrise: Wie Kernkraft uns jetzt retten kann. ISBN 978-3-86995-123-2 →

L'énergie nucléaire dans les pays germanophones

À l'automne 2021, le Forum nucléaire suisse a abordé avec Anna Veronika Wendland le fait que l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse appréhendent différemment la thématique de l'énergie nucléaire. L'Autriche a construit une centrale nucléaire sur le site de Zwentendorf, qui n'a toutefois jamais été mise en service suite au référendum de novembre 1978. En décembre de la même année, le pays a même promulgué en loi, toujours en vigueur, qui interdit l'utilisation de la fission nucléaire pour produire de l'énergie. De son côté, l'Allemagne souhaite mettre à l'arrêt ses trois derniers réacteurs fin 2022, et acter ainsi sa sortie du nucléaire. À l'inverse, la Suisse autorise le fonctionnement de ses tranches nucléaires dans la mesure où l'autorité de sûreté nucléaire, l'IFSN, estime qu'il est sûr. L'historienne des techniques, spécialisée dans l'Europe de l'Est, nous explique l'origine, selon elle, de ces différentes approches.

Pourquoi l'énergie nucléaire est-elle si impopulaire dans l'espace germanophone?

L'acceptation plus ou moins forte de l'énergie nucléaire selon le pays s'explique aussi par la culture de la technique et par la culture de manière générale de ces pays. On constate que dans les pays germanophones, essentiellement en Allemagne et en Autriche, la critique vis-à-vis de la technique, et en particulier de la technique nucléaire, est particulièrement forte. Cela est moins vrai en Suisse. Cette critique prend racine dans l'histoire spirituelle allemande, ou du moins germanophone. Mais pas uniquement: elle est aussi le résultat de causes plus récentes, notamment des mouvements

sociaux des années 1970 qui sont venus se greffer à des courants plus anciens liés à la protection de l'environnement et de la nature, et à la protection du patrimoine – des courants donc plutôt de droite – qui étaient établis bien avant les débats sur le nucléaire.

À cela est venue s'ajouter la peur suscitée par les bombes atomiques, et donc la peur d'une guerre nucléaire. Cette situation a conduit à ce que dans l'espace germanophone, notamment en Allemagne et en Autriche, le nucléaire pâtit aujourd'hui d'une mauvaise image. Par ailleurs, ces sociétés sont celles qui ont perdu la guerre, et qui ont, par-là, vécu des crises et ont développé des craintes que les autres sociétés n'ont pas.

Frank Biess a écrit un ouvrage très intéressant sur le sujet, intitulé «Republik der Angst», dans lequel il présente l'histoire de la République fédérale d'Allemagne comme une histoire de la peur. Selon lui, les expériences de la guerre, de l'inflation, mais aussi de la situation de perdant, expliquent les positions actuelles car elles font naître les peurs. Cela va bien au-delà des préoccupations écologiques, environnementales ou nucléaires.

Il s'agit aussi d'un terreau qui n'existait, et n'existe, pas en Suisse dans une telle ampleur. Et je pense que cela fait partie des raisons pour lesquelles, en Suisse, les discussions sur le nucléaire sont moins tendues, moins chargées émotionnellement et moins controversées qu'en Allemagne.

La propagande de guerre à propos des installations nucléaires



Rainer Meier

Conseiller sénior en gestion
de réputation

La guerre en Ukraine est aussi une guerre de communication. Les règles ne sont pas les mêmes que celles auxquelles nous sommes habitués dans notre communication de tous les jours. Normalement, notre comportement repose sur la confiance: je pars du principe que mon collègue, mon chef ou ma femme me disent la vérité. Mais parfois, notre confiance est trahie.

La confiance est à la base de la communication. Car dans un environnement de confiance, il y a de fortes chances que le destinataire du message réagisse tel que l'avait prévu l'émetteur.

Les parties belligérantes comptent précisément là-dessus. Elles font de la propagande, exagèrent, livrent des demi-vérités et des informations falsifiées, afin de nous inciter à adopter un comportement qui leur soit utile. Mais pour cela, elles ont besoin que nous leur fassions confiance. La propagande de guerre de Poutine en est un exemple éloquent. Nous n'avons pas confiance en lui et toute nouvelle information qui paraîtrait douteuse nous conforte dans l'idée que nous ne devons absolument rien croire venant de lui. Même si dans cette guerre, jusqu'à présent, les informations venant des Russes n'ont pas toujours été mensongères ou falsifiées.

Spontanément, notre sympathie va au plus petit, à celui qui est attaqué, qui doit se défendre. Ainsi, avons-nous tendance à croire le côté ukrainien. C'est humain, mais parfois, nous nous trompons. Les Ukrainiens et Ukrainiennes veulent gagner la guerre, et pour cela, ils ont besoin de soutien. Nous devons donc partir du principe qu'ils mènent, eux aussi, une propagande.

Souvent, il est difficile pour les personnes extérieures, y compris pour les journalistes de guerre expérimentés, de savoir qui dit la vérité et qui ment. Ainsi, les messages de guerre et les vidéos publiés sur «Twitter» sont tout autres que ceux présents sur «Telegram», et les médias occidentaux racontent une histoire bien différente de celle de l'agence de presse russe Sputnik.

Faire de la propagande, c'est avant tout manipuler les médias. Nous le savons: nos médias jouent avec nos émotions. Et l'émotion la plus présente en temps de guerre est la peur.

Les nouvelles alarmantes concernant les centrales nucléaires ukrainiennes témoignent de la quête difficile de vérité. Cela a commencé lorsqu'il a été annoncé que les troupes russes occupaient le site de Tchernobyl. Les scénarios les plus inquiétants sur la présence d'un rayonnement dans toute l'Europe ont immédiatement commencé à circuler dans les médias, suscitant la peur au sein des populations. Une collègue de travail sous le choc m'a demandé si nous devions prendre des mesures de précaution et aller chercher des comprimés d'iode en pharmacie.

Certes, près de 150 tonnes de matières radioactives se trouvent encore dans les décombres de Tchernobyl, mais

sous un premier sarcophage de 7000 tonnes d'acier et de 410'000 mètres cubes de béton. Sur lequel est venue s'ajouter, en 2019, une arche de 25'000 tonnes. Comment un tel rayonnement à grande échelle peut-il être possible? Et qui aurait intérêt à ce que cela se produise?

Lors du retrait ultérieur des troupes de Tchernobyl, les médias occidentaux ont à nouveau fait état de «valeurs de rayonnement élevées» et sept soldats russes auraient présenté des symptômes dus à une exposition au rayonnement, après avoir creusé des tranchées dans la forêt qui entoure le site de Tchernobyl. Mais pour développer une telle maladie, il aurait fallu qu'ils soient en contact direct avec des matières fortement radioactives, comme cela a été le cas des nettoyeurs qui ont déblayé les débris de graphite avec de simples gants en 1986. Or la dose présente dans la forêt rousse, la zone la plus fortement contaminée en dehors du bâtiment réacteur, est, tout au plus, deux fois plus élevée que la dose absorbée lors d'un vol vers New York.

Alors: infox ou vérité?

Je me suis renseigné auprès d'un collègue qui a effectué un voyage d'exploration dans la zone autour de Tchernobyl en 2019. Il a, à son tour, consulté une connaissance qui travaille à l'hôpital de Gomel, en Biélorussie, à proximité de la frontière ukrainienne, là où les soldats «contaminés» ont été transportés. Il s'est avéré que certes, des soldats russes blessés avaient été soignés à Gomel, mais aucun ne présentait de symptômes dus à une exposition au rayonnement. Pour mon collègue, «bien sûr, cela peut parfaitement être de la propagande de guerre. Mais j'ai confiance en ma source, et il n'existe aucune raison valable de conclure à une irradiation massive des soldats.»

La propagande autour des centrales nucléaires atteint son apogée au mois de mars, alors que les Russes occupent le site nucléaire de Zaporijia, dans le sud de l'Ukraine. L'installation comprend six réacteurs d'une puissance équivalente à celle de Gösgen. Un incendie s'étant déclaré dans un bâtiment annexe, les réacteurs ont été brièvement arrêtés, à l'exception d'un seul, avant d'être reconnectés au réseau. Rien d'exceptionnel...

Mais cela n'a pas empêché les médias occidentaux de mettre le feu aux poudres. Il a été question d'un possible

accident majeur tel qu'il ne s'en est encore jamais produit. L'insinuation selon laquelle les Russes pourraient délibérément provoquer cet accident n'a toutefois pas perduré. Car en libérant une radioactivité importante, en cas de vent d'ouest, l'armée russe aurait mis en danger sa propre population.

Enfin, les médias se sont focalisés sur la possibilité qu'un projectile perdu puisse toucher l'installation et, ainsi, provoquer involontairement un accident majeur. Mais là encore, les experts ont immédiatement levé l'alerte. Une centrale nucléaire possède des barrières de protection redondantes qui empêchent qu'un missile perdu ne cause de dégâts importants. Seul un tir très ciblé, intentionnel, peut provoquer une fuite massive de radioactivité. Ce qui nous ramène à la question de savoir à qui pourrait bien profiter le crime.

Dans un article de la NZZ, Annalisa Manera, professeure d'Énergie nucléaire à l'EPF de Zurich, avait attiré l'attention sur le point réellement épineux: le réseau électrique. Des dégâts sur l'alimentation électrique – qu'ils soient intentionnels ou non – impacteraient le refroidissement des réacteurs. Or celui-ci doit être garanti même lorsque l'installation est arrêtée. Certes, en cas de panne de courant, les centrales nucléaires continuent d'être approvisionnées grâce à des groupes Diesel supplémentaires qui alimentent les pompes de refroidissement. Mais en cas d'évènement majeur, ces groupes Diesel pourraient, eux aussi, dysfonctionner, comme cela a été le cas à Fukushima.

Il est évident qu'en temps de guerre, les centrales nucléaires représentent un risque pour la sécurité. Mais c'est aussi le cas des sites chimiques, des raffineries ou encore des barrages. Et si un «missile perdu» peut effectivement faire sauter un site chimique ou un barrage, dans le cas d'une centrale nucléaire, l'intention doit être délibérée.

Malgré tout, l'autorité de sûreté nucléaire ukrainienne, Energoatom, a une nouvelle fois mis en garde contre un risque de catastrophe nucléaire, lorsque des missiles de croisière russes ont survolé le site de Zaporijia à basse altitude. On pouvait ainsi lire sur le compte «Telegram» d'Energoatom: «Des missiles russes pourraient toucher

une ou plusieurs installations, menaçant ainsi le monde entier d'une catastrophe nucléaire.» Or les spécialistes chez Energoatom savent bien qu'il faut plus qu'un missile pour causer une telle catastrophe. De même qu'il est peu probable que les Russes s'en prennent délibérément à leurs propres troupes stationnées à Zaporijia.

Est-ce dans l'intérêt de la propagande ukrainienne de dramatiser la situation au sein des installations nucléaires? Est-ce que cela doit leur permettre de rallier les Occidentaux à leur cause?

Il est de notre devoir d'évaluer les sources, de vérifier la valeur des annonces, et de toujours se demander à qui profite l'information. Qui a intérêt à ce que je croie ce que j'entends et ce que je lis?

Entre-temps, chez nous aussi, des revendications politiques demandent que les centrales nucléaires suisses soient «sûres en cas de guerre» de sorte que des agresseurs potentiels ne puissent pas les détruire. Petit bémol tout de même: cette demande émane des mêmes cercles que ceux qui estiment que l'armée suisse doit

être démantelée. Car – comme l'a annoncé l'ancien conseiller national du canton de Zoug, Jo Lang, lors d'une interview accordée à la *Sonntagzeitung* – la «probabilité que les Russes marchent vers le lac de Constance n'a jamais été aussi faible qu'aujourd'hui».

C'est aussi cela, le risque de la propagande: un message peut en abattre un autre. (C.B.)

Les auteurs invités nous donnent leur avis. Il ne s'agit pas nécessairement de celui du Forum nucléaire suisse.

Rainer Meier (63 ans) a été responsable de la communication chez Axpo de 2006 à 2021. Il est aujourd'hui conseiller senior en gestion de réputation.

En Suisse

Les trois principales **associations économiques suisses** – Economiesuisse, Swissmem et Science Industries – ont formulé des propositions pour un approvisionnement électrique sûr, durable et économique.



Le président de Swissmem, Martin Hirzel, demande «une ouverture complète du marché pour la transformation de l'économie énergétique». (Photo: Swissmem)

En 2021, la **consommation d'électricité** en Suisse s'est établie à 58,1 milliards de kilowattheures (kWh), affichant ainsi une hausse par rapport à l'année précédente (+4,3%). La production nationale – après déduction de la consommation due au pompage d'accumulation – a atteint 60,1 milliards de kWh.

Conformément au calendrier, la **tranche 1** de la centrale nucléaire de **Beznau** a été déconnectée du réseau le 29 avril 2022 pour environ huit semaines.

Conformément au calendrier, la centrale nucléaire de **Gösgen** a été arrêtée le 21 mai 2022 dans le cadre de sa révision annuelle. L'interruption d'exploitation pour le changement du combustible et pour les travaux de maintenance durera environ cinq semaines.

Dans le cadre d'une mission IRRS, l'équipe d'experts de l'AIEA estime que **le plus grand défi en Suisse** est de maintenir et de développer à long terme les **compétences** des organismes responsables de la sécurité, notamment dans la perspective de la sortie du nucléaire.

En décembre 2021 et en février 2022, deux conteneurs de transport et de stockage du type TN24BH en provenance de la centrale nucléaire de **Leibstadt** sont arrivés au dépôt intermédiaire central (Zwilag) de Wurenlingen.



Coup d'œil dans la halle de stockage des conteneurs à Zwilag, Wurenlingen. Cette halle permet de stocker les déchets vitrifiés hautement radioactifs issus des installations de retraitement et les assemblages combustibles usés provenant des centrales nucléaires suisses. (Photo: Zwilag)

Après trois ans de **forages en profondeur**, la Nagra a achevé sa campagne avec succès. Il s'agit maintenant de déterminer quelle région – à savoir Jura-est, Nord des Lägern ou Zurich nord-est – se prête le mieux pour l'aménagement d'un dépôt. →



La Nagra a extrait des carottes à plus de 6000 mètres de profondeur. Les échantillons récoltés ont été placés dans des caisses en bois entreposées dans une halle et seront étudiées par de nombreux experts. (Photo: Nagra)

À l'étranger

Depuis le début de la guerre en **Ukraine**, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) suit la situation dans le pays et elle est en contact permanent avec l'autorité ukrainienne de sûreté nucléaire, la SNRIU. Elle fournit régulièrement un aperçu de la situation et de l'état des installations nucléaires sur place.

Un rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) indique que si aucune mesure n'est prise, il est peu probable que la poursuite de l'exploitation de **Tihange 3 et Doel 4** au-delà de 2025 soit possible.

Le ministère de l'Énergie a lancé les travaux en vue de la réalisation d'une étude sur la construction à court terme d'au moins une nouvelle tranche nucléaire en Bulgarie – a priori sur le site de **Kozloduy**.



Deux tranches nucléaires sont en exploitation sur le site bulgare de Kozloduy. Un autre réacteur pourrait être construit. (Photo: Kozloduy NPP)

L'énergéticien public tchèque ČEZ fournit une surface en vue de la construction éventuelle du premier petit réacteur modulaire (**SMR**) de République tchèque sur le terrain de la centrale de **Temelín**.

La tranche pakistanaise **Karachi 3**, du type Hualong-One, a été pour la première fois connectée au réseau électrique national.

Les gouvernements des provinces canadiennes de l'Alberta, du Nouveau-Brunswick, de l'Ontario et de la Saskatchewan ont approuvé un plan stratégique commun portant sur le déploiement de petits réacteurs modulaires (**SMR**) au Canada.



Le Canada souhaite accélérer le développement et l'utilisation des SMR. Un des trois projets porte sur la construction du BWRX-300 de GE Hitachi Nuclear Energy sur le site de Darlington. (Photo: GE Hitachi)

Les travaux d'excavation des **tranches 5 et 6** de la centrale nucléaire de **Kaiga**, dans l'État indien de Karnataka, ont été lancés le 28 avril 2022.



Des hauts responsables de Nuclear Power Corporation of India Ltd. (NPCIL) posent la première pierre des réacteurs à eau lourde sous pression indigènes Kaiga 5 et 6. (Photo: NPCIL)

L'autorité finlandaise de gestion des déchets, Posiva Oy, a déposé une demande d'autorisation d'exploitation pour l'installation d'encapsulation et le dépôt en couches géologiques profondes destiné aux assemblages combustibles usés d'**Onkalo**. →

Le premier béton de la tranche nucléaire **Xudabao 4** dans la province de Liaoning au nord de la Chine a été coulé le 19 mai 2022. Seize tranches nucléaires sont actuellement en construction dans le pays.



Représentation photoréaliste des tranches VVER-1200 Xudabao 3 et 4 en Chine. (Photo: Atomstroyexport)

La tranche nucléaire **Olkiluoto 3** en Finlande a été pour la première fois connectée au réseau électrique national le 12 mars 2022. L'EPR sera mis en service commercial en juillet.



La tranche EPR Olkiluoto 3, en Finlande, est désormais connectée au réseau. (Photo: TVO)

China National Nuclear Corporation (CNNC) a informé qu'un des deux réacteurs à eau lourde de type Candu de la centrale nucléaire de **Qinshan** produisait du **carbone 14** (C-14) depuis le 26 avril 2022. Il s'agit du seul réacteur en service commercial dans le monde qui produise le radioisotope.

Fennovoima Oy a annulé la commande relative à la fourniture et à la construction du réacteur à eau sous pression de 1200 MW du type russe avancé AES-2006 **Hanhikivi 1**, sur le site Pyhäjoki.



La collaboration avec le fournisseur de réacteur russe RAOS Project s'est achevée le 2 mai 2022, avec effet immédiat. À la fois les activités de planification et d'homologation et les travaux à Hanhikivi 1 ont été suspendus. (Photo: Fennovoima)

Le 2 mai 2022, la tranche nucléaire chinoise de **Hongyanhe 6** a délivré pour la première fois de l'électricité sur le réseau chinois.

Le chantier naval norvégien d'Ulstein a développé un nouveau concept de navire pour des croisières pauvres en émissions. La pièce maîtresse est le navire «**Thor**», équipé d'un réacteur à sels fondus fonctionnant au thorium.



Le concept du chantier naval norvégien d'Ulstein prévoit que jusqu'à quatre navires de croisière fonctionnant avec des batteries, comme le SIF (en vert), pourront être rechargés en électricité simultanément grâce à un RSF au thorium placé à bord du navire de ravitaillement Thor (en bleu). (Photo: Ulstein)

Le gouvernement soutient le développement de nouveaux projets nucléaires en **Grande-Bretagne** via le Future Nuclear Enabling Fund, un fonds doté de 120 millions de livres sterling (146 millions de francs).



Kwasi Kwarteng, ministre britannique des Affaires, de l'Énergie et de la Stratégie industrielle, soutient la nouvelle stratégie énergétique du gouvernement faisant la part belle au nucléaire. L'objectif est de renforcer la sécurité énergétique du pays avec de l'électricité bas carbone abordable, produite localement.

(Photo: Parlement britannique, 2022)

L'entreprise sud-coréenne publique Korea Hydro Nuclear Power (KHNP) a remis son offre relative à la construction de la première centrale nucléaire en **Pologne**. Celle-ci porte sur six réacteurs d'une capacité globale de 8400 MW, la mise en service de la première tranche étant prévue pour 2033.



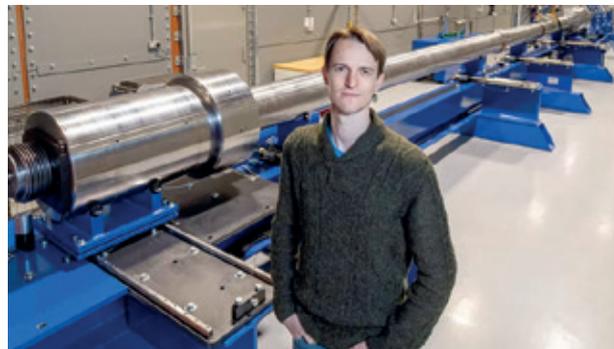
La délégation composée de membres sud-coréens et polonais lors de la remise de l'offre relative à la construction des premières tranches nucléaires en Pologne. (Photo: KHNP)

Le **tokamak ST40** de Tokamak Energy a atteint une température de plasma de 100 millions de degrés Celsius. Il s'agit de la température requise pour une utilisation commerciale de l'énergie de fusion.

À compter de 2024, l'énergéticien public tchèque ČEZ achètera du combustible de Westinghouse et de Framatome pour sa centrale de **Temelín**, et ce pour une durée de 15 ans.

Le Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Rafael Mariano Grossi, a annoncé le lancement de la nouvelle **Nuclear Harmonization and Standardization Initiative**. Celle-ci a pour objectif de faciliter l'utilisation sûre des petits réacteurs modulaires (SMR) et autres technologies nucléaires avancées.

First Light Fusion (First Light), une spin-off de l'Université d'Oxford qui développe, depuis 2011, une approche de **fusion par projectile**, a annoncé avoir généré de l'énergie sous la forme de neutrons en faisant fusionner des isotopes de deutérium.



Nick Hawker, co-fondateur et dirigeant de First Light Fusion: «Il s'agit d'une voie vers la fusion entièrement nouvelle».

(Photo: First Light Fusion)

L'**analyse du cycle de vie** réalisée par l'énergéticien français Électricité de France (EDF) montre qu'une centrale nucléaire en **France** génère moins de 4 g d'équivalent CO₂ pour chaque kilowattheure de courant produit. Cette analyse satisfait les normes ISO et a été revue par des experts indépendants.

Un sondage réalisé par le **Forum nucléaire belge** montre que deux tiers des Belges souhaitent que l'énergie nucléaire fasse partie du mix énergétique du pays, et ce également après 2025. →

Le gouvernement suédois a présenté un **paquet de mesures** destinées à garantir un approvisionnement électrique suffisant à des prix abordables pour les années à venir. Il s'agit notamment de propositions pour le solaire, l'éolien et l'hydraulique, mais aussi pour le couplage chaleur-force, la chaleur à distance et le nucléaire.



Lors de la conférence de presse du 21 juin 2022, Khashayar Farmanbar s'est exprimé sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique suédois. Les centrales nucléaires suédoises resteront une partie intégrante de l'approvisionnement électrique du pays pendant encore longtemps. (Photo: Vidéo YouTube)

La Société canadienne de gestion des déchets nucléaires (SGDN) a publié les **rapports sur la sécurité** pour les deux sites étudiés pour accueillir un dépôt en couches géologiques profondes destiné aux assemblages combustibles usés canadiens. Ils indiquent que les deux sites – Ignace et South Bruce dans la province de l'Ontario – répondent aux exigences du projet.



South Bruce, dans la province de l'Ontario, fait partie des deux sites potentiels d'établissement d'un dépôt en couches géologiques profondes destiné aux assemblages combustibles usés canadiens. (Photo: SGDN)

L'entreprise sidérurgique britannique Sheffield Forgemasters est parvenue à souder ensemble deux sections de conteneurs de 200 mm d'épaisseur et d'un diamètre de 3 m en acier de qualité nucléaire en recourant à un procédé de **soudage par faisceau d'électrons** (Electron Beam Welding, EBW).



Les segments d'acier ronds soudés entre eux au moyen de la technique du soudage par faisceau d'électrons, par l'entreprise Sheffield Forgemasters. (Photo: Sheffield Forgemasters)

La Nawah Energy Company a commencé à placer le combustible dans le **réacteur 3** de la centrale de **Barakah** après avoir obtenu le permis d'exploitation. (M.A./C.B./A.T.)



Le chargement du cœur de la tranche Barakah 3, aux Émirats arabes unis (EAU), a commencé. L'installation sera mise en service avant la fin de l'année. (Photo: Enec)

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.forumnucleaire.ch.

Poursuivre l'exploitation des centrales au nom de la sécurité énergétique: une option balayée par la politique



Nicolas Wendler

Responsable du service
Presse et Politique et
porte-parole de Kerntechnik
Deutschland e.V. (KernD)

La sécurité de l'approvisionnement électrique dans le contexte de la guerre en Ukraine inquiète aussi l'Allemagne. Le ministre fédéral de l'Économie, Robert Habeck, avait annoncé vouloir étudier la poursuite du fonctionnement des réacteurs allemands sans aucune interdiction de principe ni posture défensive idéologique. L'association de branche Kerntechnik Deutschland e.V. (KernD), anciennement Deutsches Atomforum e.V. (DAtF), nous montre, faits à l'appui, que cette promesse n'a pas été tenue.

Le 24 février 2022, ce que l'on redoutait depuis des mois se produit: la Russie envahit l'Ukraine «sur un large front», pour reprendre le jargon militaire. Les pays occidentaux n'ont alors pas d'autre choix que de prendre les sanctions économiques brandies depuis des mois pour dissuader l'agresseur. Pour l'espace de paix européen en place depuis la fin de la Guerre Froide et l'analyse de la menace militaire, cela ne signifie ni plus ni moins qu'un «changement d'époque», pour reprendre la formulation du chancelier allemand Olaf Scholz. Depuis, on oscille en permanence entre un renforcement des sanctions économiques pouvant aller jusqu'à un embargo total sur les livraisons d'énergie et autres matières premières russes et la crainte d'un arrêt des approvisionnements russes comme moyen de pression ou mesure de représailles. Après 40 ans, la relation fusionnelle entre l'Allemagne et la Russie (soit l'ex-Union soviétique) dans le domaine énergétique est remise en question. Un «changement d'époque» aussi pour la politique énergétique allemande.

La poursuite de l'exploitation des réacteurs, autre stigmaté du changement d'époque?

On a cru, à un moment, que la guerre en Ukraine remettrait une nouvelle fois en question la durée de fonctionnement des centrales allemandes – dans le débat allemand, un fait qui n'est pas vu sous un angle technico-économique mais comme une base de la transition énergétique érigée en question de principe. Il y a quelques semaines seulement, le ministre fédéral de l'Économie et vice-Chancelier Robert Habeck, alors vice-président du parti Alliance 90/Les Verts, s'est attaqué à ce tabou en date de 2011 et soutenu par toute la Chancellerie d'Angela Merkel, en annonçant au magazine télévisé «Bericht aus Berlin» du 27 février vouloir examiner la poursuite de l'exploitation des réacteurs allemands par crainte d'une crise énergétique à venir, et ce sans interdiction de principe ni posture défensive idéologique. Il a ainsi ouvert la voie à une discussion d'autant plus surprenante dans le contexte allemand qu'au cours des dernières années, la demande avait déjà été formulée, notamment dans le contexte de la protection du climat et, l'an passé, en raison de l'augmentation fulgurante des prix de l'électricité sur le marché de gros, sans susciter un écho politique notable, que ce soit au

sein du gouvernement de la grande coalition ou de la coalition actuelle.

Les exploitants des centrales nucléaires s'étaient, eux-aussi, opposés à une telle possibilité, invoquant les planifications et contrats en vigueur dans le domaine du démantèlement nucléaire – prescrit légalement –, position qu'ils ont réaffirmée après le début de la guerre mais avant les déclarations de M. Habeck. Mais dans la journée du 28 février, deux d'entre eux ont reconsidéré leur point de vue et au regard de la nouvelle situation, ils se sont dit prêts à étudier la poursuite de l'exploitation de leurs réacteurs et, dans la mesure où les conditions seraient réunies et où le gouvernement fédéral y serait favorable, à revoir la procédure prévue, dans l'intérêt de la sécurité énergétique. Un autre exploitant a alors fait part de son profond scepticisme et a rappelé les obstacles qui se dressaient devant une telle démarche. Les trois exploitants nucléaires ont également souligné qu'ils soutenaient toujours la sortie du nucléaire.

La ministre fédérale de l'Environnement, Steffi Lemke, également du parti Alliance 90/Les Verts, s'est, de son côté, immédiatement opposée à cette idée, pour des raisons de sécurité. Quelques responsables politiques des Länder et députés au Bundestag, dont le porte-parole du groupe FDP au Bundestag, Michael Kruse, un parti de la coalition gouvernementale, le FDP du Schleswig-Holstein – qui souhaitait redémarrer la centrale nucléaire de Brokdorf, sur les bords de l'Elbe, dès fin 2021 –, ou encore le Ministre-président de Bavière, Markus Söder (CSU) ont demandé que l'intégration de l'énergie nucléaire dans la planification de la sécurité d'approvisionnement soit étudiée sans parti pris. Le débat a pris de l'ampleur dans les semaines qui ont suivi, en particulier au sein de la CDU, de la CSU et du FDP, et des sondages ont montré qu'en raison de la situation actuelle, une part croissante des personnes interrogées était favorable à la poursuite du fonctionnement des réacteurs. C'était le cas notamment d'un sondage réalisé par l'Institut für Demoskopie Allensbach en mars 2022, dans lequel 57% des personnes sondées soutenaient la poursuite de l'exploitation des centrales allemandes.



Dans le Morgenmagazin de la ZDF du 7 mars 2022, Markus Söder, Ministre-président de Bavière et président de la CSU, a plaidé en faveur d'une prolongation de plusieurs années de la durée de fonctionnement des réacteurs: «Bien sûr, sur un plan technique, une prolongation est tout à fait possible. La question qui se pose est celle de la volonté politique. Mais je pense que pour les trois à cinq prochaines années, au regard de la situation d'urgence à laquelle nous faisons face, cela représenterait une bonne transition et nous permettrait de produire une électricité abordable et respectueuse du climat.»

(Photo: MSC / Müller)

Les entreprises du secteur déposent une offre, aussitôt rejetée

Du côté de Kerntechnik Deutschland (KernD), la discussion a trouvé un premier écho officiel dans une prise de position dans laquelle les membres de l'association proposaient à la politique de tout mettre en œuvre pour permettre la poursuite du fonctionnement des réacteurs allemands, dans l'intérêt de la sécurité énergétique et dans la mesure toutefois où le gouvernement fédéral y serait favorable et où les conditions légales seraient réunies. Cette prise de position a été publiée le 4 mars et envoyée aux médias ainsi qu'à plusieurs personnalités politiques, dont des membres du gouvernement fédéral. Dans un premier temps, alors que les parlementaires et les politiques ont manifesté leur intérêt, le gouvernement n'a pas réagi. À ce moment-là, la note du ministère fédéral de l'En-

vironnement, de la Protection de la nature, de la Sûreté nucléaire et de la Protection des consommateurs (BMU) et du ministère fédéral de l'Économie et de la Protection du climat (BMWK), achevée le 7 mars et publiée le 8, était en cours d'élaboration. Le document énumérait de nombreux points légaux, réglementaires, techniques ou économiques – en partie douteux ou erronés –, s'opposant à la poursuite du fonctionnement des réacteurs, faisait état d'une utilité soi-disant faible, et arrivait, sans surprise, à la conclusion que laisser les réacteurs connectés au réseau n'était pas recommandé, même dans une éventuelle situation de crise. La Commission sur la sécurité des réacteurs ou encore l'expert fédéral, la Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, n'avaient pas été consultés dans le cadre de cette évaluation. Le transfert des compétences en matière d'énergie nucléaire du ministère de l'Économie à celui de l'Environnement, qui n'était pas encore achevé à ce moment-là, a empêché de déterminer les responsabilités de fond entre les deux ministères. Une réponse brève, directe, à l'association a fait référence à cette note.

Le 15 mars, KernD publiait à nouveau un commentaire sur cette note, dans laquelle l'association rectifiait des allégations majeures du gouvernement fédéral. Les principaux aspects abordés concernaient la situation en matière d'autorisation et de droit européen, l'évaluation de la sécurité des installations, les questions de l'approvisionnement en combustible et en pièces de rechange, ainsi que la disponibilité du personnel. Quelques mises au point s'imposaient.

Les hypothèses inexactes aboutissent à des conclusions erronées

On peut lire dans la note des ministères que la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires nécessiterait une modification de la réglementation qui équivaldrait à une nouvelle autorisation basée sur la «norme EPR». Or la loi atomique allemande prévoit que les trois derniers réacteurs encore en service devront cesser le fonctionnement de puissance, autrement dit la production d'électricité, au plus tard le 31 décembre 2022, avec des délais respectifs. Les permis d'exploitation ne sont pas concernés et en Allemagne, ils sont donnés sans limitation de durée et sont valables tant qu'une autorisation de désaffectation et de démantèlement n'a pas été remise. Ainsi,

pour rendre possible une poursuite du fonctionnement, seule la loi doit être modifiée, il n'est pas nécessaire de lancer une nouvelle procédure d'autorisation. Aucune «norme EPR» n'existe dans la réglementation nucléaire allemande, les réacteurs sont soumis à une exigence de prévention des dommages selon le dernier état de la technique et de la science, conformément à la réglementation «SiAnf» (Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke) de 2015.

Concernant le droit européen, les auteurs de la note font valoir que pour permettre la poursuite du fonctionnement des réacteurs, la CJCE impose la réalisation d'une évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière. Or ils ne prennent pas en compte ici le fait que la suppression de la date limite d'exploitation fixée dans la loi atomique et la suppression éventuelle de la quantité d'électricité limite à produire constituent de facto un retour de la situation initiale, et que l'arrêt rendu par la CJCE avait pour effet un report de dix ans de la validité des permis d'exploitation. Mais avant toute chose, ils omettent de préciser que la CJCE fixe une exception à la réalisation d'une telle évaluation dans le cas où un État membre démontrerait que le risque pour la sécurité de l'approvisionnement énergétique est probable. Or dans le contexte de la guerre en Ukraine, la sécurité énergétique est précisément l'élément central de toute discussion, et il ne fait aucun doute que l'exception s'applique ici.

Concernant la sécurité des installations, dans sa note, le gouvernement fédéral fait référence aux réexamens périodiques de sûreté (RPS). La loi atomique allemande prévoit ici une exception: il est possible de renoncer au RPS dans le cas où la fin du fonctionnement de puissance est proche. Si l'on applique cette exception, il n'est pas nécessaire de réaliser les RPS conformément aux SiAnf de 2015 pour les trois Konvoi encore en fonctionnement. Pour pouvoir poursuivre l'exploitation des réacteurs, une modification de la loi est requise, afin de rattraper ces examens. Pour les exploitants et les autorités, les RPS sont des procédures de documentation et de démonstration qui nécessitent beaucoup de travail et de temps, mais qui peuvent se dérouler parallèlement au fonctionnement, et leur réalisation ne poserait donc aucune difficulté dans le cas d'une poursuite de l'exploitation.

Par ailleurs, des RPS ont déjà été réalisés pour les centrales de Brokdorf et Gundremmingen C, arrêtées le 31 décembre 2021, conformément aux SiAnf 2015, et aucune lacune majeure n'a été identifiée. Il n'y a donc pas lieu de s'attendre que – pour les installations Konvoi non plus – des mesures de rééquipement importantes soient mises en évidence dans le cadre d'un RPS. Il faut tenir compte du fait qu'entre le RPS de 2009 et le RPS d'aujourd'hui, il y a eu l'examen des centrales nucléaires par la Commission sur la sécurité des réacteurs après l'accident de Fukushima, ainsi que le test de résistance, et le processus de suivi. Là encore, aucun besoin de rééquipement majeur n'a été identifié. Si des mesures post-Fukushima avaient été requises dans ces installations, elles auraient été mises en œuvre. La sûreté nucléaire est donc garantie, même sans RPS, grâce à la prévention des dommages selon le dernier état de la science et de la technique. Par ailleurs, les exigences relatives à la maîtrise des événements hors dimensionnement de niveau de sécurité 4 sont, elles aussi, satisfaites.

Concernant l'aspect pratique de l'approvisionnement en combustible dans le cadre de la poursuite éventuelle du fonctionnement des réacteurs allemands, la note du gouvernement dresse un tableau négatif avec des termes parfois incorrects. Le terme d'«exploitation en prolongation de cycle» y est compris comme le fait qu'avec l'inventaire de combustible actuel, la production d'électricité pourrait être poursuivie au-delà du 31 décembre 2022 à la condition que le combustible ait été utilisé de manière économe au préalable. La situation est présentée comme un jeu à somme nulle sur le plan énergétique, susceptible tout au plus de permettre un report de la production de l'été sur les mois d'hiver, nettement critiques. Or l'exploitation en prolongation de cycle fait référence à l'utilisation d'un chargement de combustible au-delà de la fin du cycle prévu. Ainsi, les centrales nucléaires seraient en mesure de produire de l'électricité durant quelques mois supplémentaires au-delà du 31 décembre 2022. On ne mentionne pas non plus la possibilité de continuer à produire de l'électricité sans combustible neuf, mais en reconfigurant le cœur avec les assemblages combustibles présents dans la piscine de stockage. C'est ainsi que l'on a procédé en 2015 avec la centrale de Grafenrheinfeld. Ainsi, un rechargement complet du cœur des réacteurs encore en

service devrait être possible à l'automne 2023; il permettrait de continuer à faire fonctionner les installations trois à cinq années de plus, avec d'autres rechargements. Mais cette option est balayée par le gouvernement fédéral, qui estime que d'autres possibilités existent pour garantir l'approvisionnement en électricité même dans le cas d'une pénurie de gaz. Entre-temps, il a également été démontré qu'un rechargement à minima avant l'hiver 2022/23 permettrait de faire fonctionner les installations sans interruption en 2023. Concernant la fourniture de pièces détachées, jugée problématique par le gouvernement, la branche estime qu'aucune difficulté n'est à craindre.

Sur la question du personnel, l'affirmation selon laquelle les ressources sont insuffisantes pour permettre la poursuite de l'exploitation n'est pas valable non plus. KernD indique qu'en cas de prolongation du fonctionnement à court ou moyen terme, les exploitants pourraient couvrir les besoins et reconvertir du personnel d'autres centrales nucléaires dans un délai d'un an. Par ailleurs, les fabricants proposent des possibilités de formation afin de rendre opérationnel du personnel supplémentaire. Les supports sont déjà disponibles et sont utilisés pour la formation initiale du personnel dans le cadre de nouvelles constructions. Pour la poursuite d'exploitation à plus long terme, qui n'est pas à l'ordre du jour, une formation spécialisée de plusieurs années serait nécessaire pour former à nouveau complètement du personnel à certains postes indispensables à l'exploitation.

Un succès tactique du gouvernement fédéral

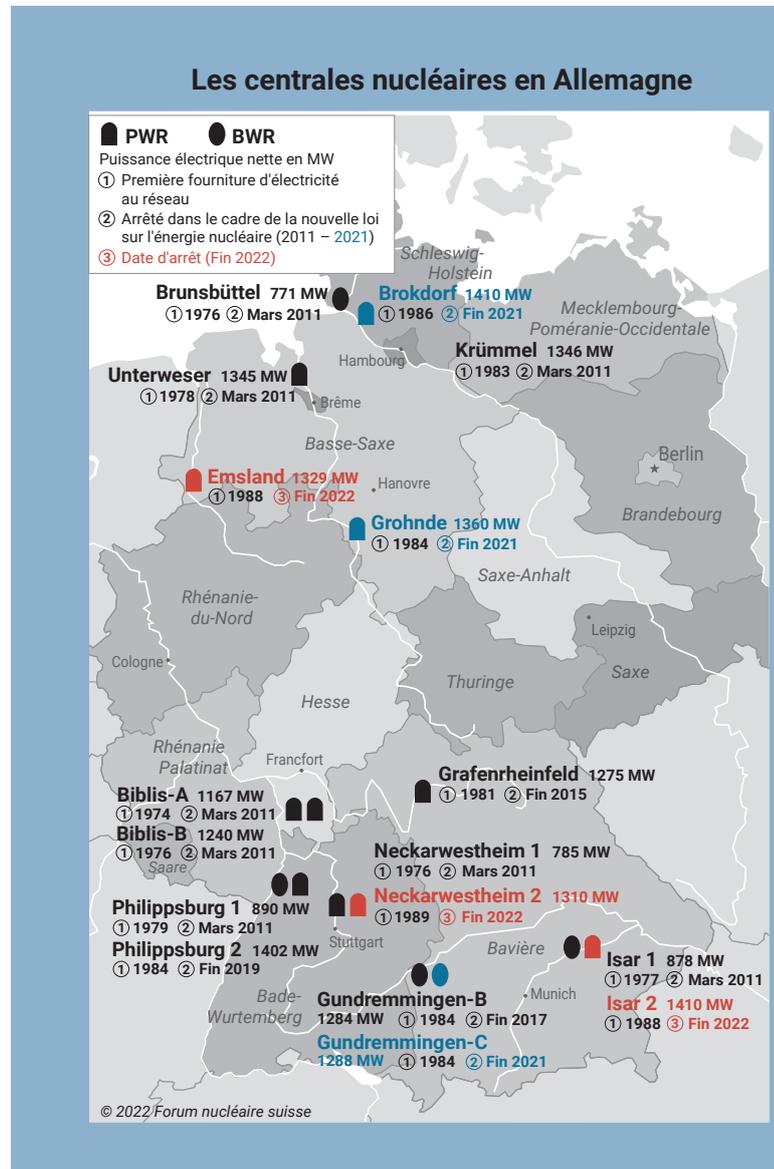
En résumé, l'examen du gouvernement fédéral a donné lieu à un véritable catalogue d'obstacles sans aucune proposition constructive, tout en affirmant que l'énergie nucléaire n'a aucune pertinence au regard de la sécurité d'approvisionnement et ce, même dans le cas d'une pénurie de gaz. Rien de surprenant, donc, à ce qu'au final, la poursuite de l'exploitation des centrales ne figure pas parmi les recommandations qui permettraient de garantir la sécurité énergétique. Tactiquement – du point de vue des Verts, fondamentalement opposés à l'énergie nucléaire et qui comptent dans leurs rangs les deux ministres fédéraux en charge de la note – cette dernière permet d'atteindre deux objectifs: d'une part, elle permet aux opposants de gagner du temps. Du temps durant

lequel les possibilités d'utiliser les centrales nucléaires, pertinentes pour la sécurité énergétique, s'amenuisent pour plusieurs raisons, et à terme. Le résultat de la note se réalise alors, telle une prophétie. D'autre part, l'évaluation négative et l'écho évident qu'elle a suscité notamment dans les publications peu scrupuleuses, aujourd'hui nombreuses, ont pour but d'irriter les exploitants et de masquer le fait que continuer à faire fonctionner les réacteurs bénéficie aujourd'hui du soutien d'une nette majorité de la population, comme le montre le sondage Allensbach susmentionné.

Appel au Chancelier fédéral et analyse de la pertinence des centrales nucléaires

Au regard de la situation, l'association de branche KernD a publié une lettre ouverte à l'intention du Chancelier Olaf Scholz le 23 mars. Elle demande à ce dernier de reconsidérer l'évaluation négative de la poursuite de l'exploitation des réacteurs et de faire valoir toutes les sources d'énergie disponibles afin de se prémunir contre une éventuelle crise énergétique. Pour elle, il faut décider, dès à présent, de poursuivre l'exploitation des centrales nucléaires, de sorte à pouvoir prendre les mesures requises à temps. La lettre faisait également référence au commentaire de KernD concernant la note du gouvernement.

Une brève analyse de l'importance des centrales nucléaires pour la production d'électricité dans une situation de pénurie de gaz, basée sur des rapports de la Bundesnetzagentur (l'agence fédérale des réseaux), des exploitants du réseau de transport et de la BDEW – l'association fédérale de l'industrie de l'eau et du gaz – a également été publiée. Il en ressort qu'en cas de pénurie de gaz, le déficit de puissance garantie par rapport à la charge maximale supposée s'établirait à 19,6 GW. Or la puissance globale de l'ensemble des liaisons électriques frontalières vers l'Allemagne se situant autour de 23 gigawatts, il serait théoriquement possible de couvrir ce déficit grâce par des importations. Par ailleurs, une pénurie de gaz en raison d'un embargo de la part de l'UE ou d'un arrêt des livraisons russes impacterait non seulement l'Allemagne mais aussi ses voisins. On peut citer ici l'exemple de l'Autriche qui, depuis la sortie accélérée de l'atome engagée par l'Allemagne en 2011, intervient massivement pour garantir l'approvisionnement électrique du



sud-est du pays lorsque la situation est critique. Tandis que, en moyenne annuelle, la part de la production d'électricité à partir du gaz s'établit à 16% en Autriche, ce qui n'est pas très élevé, elle atteint 20 à 30% durant les mois d'hiver, lorsque la charge sur le réseau électrique est maximale et que l'hydraulique fournit moins d'électricité. La dépendance de l'Autriche vis-à-vis du gaz russe était ainsi bien supérieure à celle de l'Allemagne ces dernières années, puisque 80% du gaz consommé dans le pays

provenait de Russie. Il en est de même pour l'Italie qui, depuis de décennies, fait face à un déficit structurel de sa production d'électricité dont 43% sont fournis par les centrales à gaz, et qui achète 40% de son gaz à la Russie. Dans ce contexte, les 8 GW qui pourraient être fournis par les centrales nucléaires lorsque le solaire et l'éolien ne fournissent pas d'électricité en raison de conditions météorologiques défavorables revêtent une grande importance. Dans une situation critique pour l'approvisionnement électrique, les centrales nucléaires pourraient bien faire la différence entre le maintien et l'effondrement du réseau électrique, en particulier si l'on tient compte de la vulnérabilité spécifique du sud de l'Allemagne. Des analyses des organisations compétentes en la matière, des exploitants du réseau de transport et de la Bundesnetzagentur sont attendues pour l'été. Le rapport de la Bundesnetzagentur publié fin avril, concernant le besoin de réserve du réseau pour l'hiver 2022/23, ne prend pas en compte une éventuelle pénurie de gaz. Le cas d'utilisation du réseau qui y est traité ne porte pas sur la couverture de la charge mais sur la gestion du réseau lorsque la charge et la production (renouvelable) en Allemagne sont élevées.

On peut toutefois y lire que l'électricité issue du nucléaire est quasiment exempte de CO₂, contrairement à la possibilité, privilégiée aujourd'hui par le gouvernement allemand, de reporter (partiellement) la sortie du charbon, éventuellement de redémarrer les centrales à charbon déjà arrêtées.

Conclusion

En raison de l'avis négatif rendu par le gouvernement fédéral, les discussions entamées fin février concernant la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires sont de nouveau à l'arrêt. Pour l'heure, le gouvernement estime que l'énergie nucléaire n'est pas en mesure de contribuer de manière significative à la sécurité de l'approvisionnement. Et il ne faut pas s'attendre à ce que cette opinion soit remise en question par l'analyse technique à venir de la sécurité de l'approvisionnement électrique en cas de pénurie de gaz. Précisons également qu'à l'heure actuelle, l'approvisionnement énergétique ne rencontre aucune difficulté particulière, à part de nouvelles augmentations tarifaires, alors que les prix de l'électricité et du gaz avaient déjà fortement augmenté

avant la guerre en Ukraine. La dépendance vis-à-vis du charbon et du pétrole russes sera réduite de manière constante jusqu'à la fin de l'année grâce à l'intervention d'autres fournisseurs. Dans le cas du gaz, transporté par pipelines et pour lequel il n'existe ni un marché mondial d'une taille et d'une liquidité comparables ni la possibilité d'acheminer rapidement du GNL vers l'Allemagne dans une quantité équivalente, la part fournie actuellement par la Russie ne sera pas remplacée de sitôt. Ainsi, cette année encore, le remplissage des réservoirs de gaz avant l'hiver, prévu légalement, ne pourra être réalisé qu'avec du gaz russe. Si, en raison de changements brutaux, la situation de l'approvisionnement devait se détériorer de manière importante, la question de la poursuite de l'exploitation des réacteurs pourrait être remise à l'ordre du jour. Mais à la lumière des expériences de ces dernières semaines, mieux vaut ne pas trop y compter. Il ne reste plus aux citoyens qu'à espérer que la célèbre devise de la loi de Cologne, selon laquelle ce qui a marché par le passé marchera à nouveau – en Kölsch: «Et hätt noch immer jot jejeange» –, se vérifie au moins dans le domaine énergétique, à défaut de le faire en politique étrangère et en politique de sécurité. (C.B.)

Nicolas Wendler est responsable Presse et politique, et porte-parole de l'association de la branche nucléaire allemande, Kerntechnik Deutschland e.V. (KernD). Il occupait déjà cette fonction au sein d'une des deux associations à l'origine de KernD: le DATF (Forum atomique allemand), où il était entré en tant que référent politique en 2010. Avant cela, il était le référent international d'une organisation de jeunesse partisane, dans laquelle il était responsable des relations internationales et du développement des programmes. Nicolas Wendler a étudié les sciences politiques, l'économie et l'histoire de la culture américaine (US) à Munich et à Bordeaux.

Les auteurs invités nous donnent leur avis. Il ne s'agit pas nécessairement de celui du Forum nucléaire suisse.

Doris Leuthard «n'a jamais été en faveur des interdictions»

L'ancienne conseillère fédérale Doris Leuthard s'est exprimée sur la Stratégie énergétique 2050 lors d'un discours prononcé à l'occasion de l'assemblée générale des secrétaires communaux argoviens, tenue à Möriken-Wildegg. L'article paru à ce sujet dans l'édition régionale de l'«Aargauer Zeitung» (AZ) nous a donné l'impression, même si nous ne connaissons pas tous les tenants et aboutissants du dossier, que M^{me} Leuthard cherche à se justifier au vu de la tournure prise par le débat.

«Je m'étonne de voir que certaines personnes veulent tout changer à nouveau, alors même que nous n'en sommes qu'à la quatrième année de mise en œuvre», affirme l'ancienne cheffe du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). De notre point de vue, il n'y a rien d'étonnant à cela. D'une part, parce que les personnes en question – 72 conseillères et conseillers nationaux, six conseillers aux États et 41,8% des personnes s'étant rendues aux urnes – ont voté contre la loi en question. D'autre part, parce qu'au cours de ces quatre dernières années, certaines mises en garde et certains doutes concernant les hypothèses à la base de la Stratégie énergétique 2050 semblent s'être frayé un chemin jusqu'au sein même de son ancien département. Pour justifier son attitude, M^{me} Leuthard invoque tous les arguments classiques à l'encontre de l'énergie nucléaire: «Le nucléaire est certes exempt de CO₂ mais il est cher, le problème des déchets n'est toujours pas résolu, et la Suisse dépend à 100% de l'étranger pour son approvisionnement en uranium.» Nous n'avons pas vérifié, mais espérons vivement qu'elle n'a jamais évoqué le problème prétendument non résolu des déchets nucléaires lorsqu'elle était à la tête du DETEC et parlait de la solution acceptée et préconisée par le Conseil fédéral en la matière.

Doris Leuthard reproche par ailleurs à ceux qui veulent lever l'interdiction de construire de nouvelles centrales

nucléaires «de faire peur aux gens ou de leur jeter de la poudre aux yeux». À notre humble avis, la peur d'une pénurie d'électricité est bien plus fondée que celle d'un accident nucléaire en Suisse. «Il est juste de faire de la recherche sur la technologie nucléaire, mais il est impossible de revenir sur la décision de ne pas construire de nouvelles centrales nucléaires», déclare M^{me} Leuthard. Nous nous inscrivons en faux contre cette affirmation, car cette décision pourrait être annulée de la même manière qu'elle a été prise: par une votation populaire. Une autre déclaration de l'ancienne ministre de l'Énergie nous fait hausser les sourcils: «Je n'ai jamais été en faveur des interdictions». Nous serions curieux de savoir avec quelle véhémence Doris Leuthard s'est engagée contre l'interdiction de construire des centrales nucléaires lors des discussions sur la stratégie énergétique menées au Conseil fédéral.

«Si en hiver, il y a peu d'électricité issue des parcs éoliens, pratiquement pas d'électricité d'origine photovoltaïque et pas plus d'électricité en provenance des centrales hydrauliques, alors nous devons en importer et construire une centrale à gaz pour les cas d'urgence», affirme-t-elle encore. La boucle est ainsi bouclée, car ce qu'elle propose comme solution, c'est exactement ce que beaucoup considèrent comme le problème fondamental de la stratégie énergétique: la disparition des possibilités d'importation et l'incompatibilité des centrales au gaz avec les objectifs climatiques. (M.R./D.B.)

18^e assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse

La 18^e assemblée générale du Forum nucléaire suisse s'est déroulée le 10 mai 2022 au Casino de Berne.

Dans son allocution d'ouverture, le président du Forum nucléaire suisse, Hans-Ulrich Bigler, a fait référence à la forte réorientation des débats de la politique climatique et énergétique sur l'énergie nucléaire depuis l'été dernier. Un résultat auquel le Forum nucléaire suisse a sensiblement contribué. Des voix importantes de la politique et de l'économie reconsidèrent même la possibilité de construire de nouvelles installations nucléaires. Et le peuple suisse a, lui aussi, à nouveau, une opinion plus favorable concernant l'énergie nucléaire, comme le montre un sondage réalisé au printemps dernier sur mandat du Forum nucléaire suisse. D'après celui-ci, il y aurait la même proportion de personnes favorables et de personnes opposées à l'énergie nucléaire en Suisse alémanique et en Suisse romande. Le Président du Forum nucléaire a toutefois souligné qu'il restait encore beaucoup à faire avant qu'une nette majorité de Suisses et Suissesses ne soutienne le nucléaire.

Lors de la partie statutaire de l'assemblée, les membres ont approuvé à l'unanimité le procès-verbal de l'assemblée générale de l'année dernière, de même que le rapport et les comptes annuels 2021, et ils ont donné décharge aux organes de l'association. Par ailleurs, l'assemblée a suivi la proposition du comité concernant les élections complémentaires et a accueilli Natalia Amasova, Principal Consultant chez Apollo Plus GmbH, en tant que nouvelle membre du comité.

L'assemblée générale a été suivie de l'assemblée annuelle, consacrée au thème «Un approvisionnement électrique sûr – fait, souhait, ou illusion?». Le rapport à ce sujet est disponible ci-après. (M.A./C.B.)



Lors de la partie statutaire de l'assemblée, les membres ont accueilli Natalia Amasova en tant que nouvelle membre du comité.
(Photo: Forum nucléaire suisse)

Les interdictions idéologiques mettent en péril la sécurité de notre approvisionnement électrique

«Comment la Suisse peut-elle garantir durablement son approvisionnement électrique?». Cette question, et les réponses apportées, étaient au cœur de l'assemblée annuelle 2022 du Forum nucléaire suisse, qui s'est déroulée à Berne le 10 mai dernier. Les personnes présentes étaient unanimes sur le fait que le risque de pénurie d'électricité est réel et qu'il est nécessaire d'agir. Les solutions possibles et le rôle de l'énergie nucléaire ont donné lieu à différents points de vue, et des critiques ont été formulées à l'encontre de nos responsables politiques.

Dans son allocution d'ouverture, le président du Forum nucléaire suisse, Hans-Ulrich Bigler, a présenté la situation actuelle de l'approvisionnement électrique de la Suisse. Celle-ci a évolué en raison des risques de plus en plus tangibles de pénuries d'électricité, de la multiplication des mises en garde sur le climat et, tout récemment, de la guerre en Ukraine. «Dans ce contexte, une réévaluation du rôle de l'énergie nucléaire est non seulement légitime, mais pertinente», estime M. Bigler. Si l'issue du référendum sur la Stratégie énergétique 2050 doit être respectée, rien n'interdit de formuler des propositions d'optimisations ni d'envisager l'énergie nucléaire comme option.

Selon plusieurs estimations, la Suisse pourrait voir son besoin en électricité augmenter de jusqu'à 70% d'ici 2050, et la Confédération estime même que des pénuries de courant pourraient survenir dès 2025. Se référant aux conséquences du conflit en Ukraine sur les marchés mondiaux de l'énergie, Hans-Ulrich Bigler a soulevé la question de la nécessité, pour la Suisse, de s'engager sur la voie de la production fossile d'électricité pour réduire sa dépendance vis-à-vis du gaz russe.

La Suisse à contrecourant en matière de politique énergétique?

Le président du Forum nucléaire suisse a rappelé que de nombreux pays européens misaient, pour la première fois ou à nouveau, sur l'énergie nucléaire. «La question qui doit être posée aux opposantes et opposants au nucléaire en Suisse est la suivante: ces pays sont-ils incapables d'élaborer une politique énergétique et climatique sensée, ou n'est-ce pas plutôt la Suisse et l'Allemagne qui manœuvrent à contrecourant en matière de production sûre et écologique d'électricité?

Le président de l'association a par ailleurs demandé que l'on reconsidère l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires. Selon lui, le débat ne doit pas se limiter à la question contre-productive du choix entre le nucléaire et les énergies renouvelables. «Le fait d'opposer les technologies ne nous mènera nulle part.» Il faut repenser la stratégie énergétique de sorte à intégrer toutes les technologies et à n'en exclure aucune a priori. Les technologies doivent, en premier lieu, être jugées à l'aune des critères de la sécurité de l'approvisionnement et de la protection du climat.

Le chef économiste de l'association Economiesuisse, Rudolf Minsch a, lui aussi, fait part de son inquiétude concernant le risque d'une pénurie durable d'électricité: «À l'heure actuelle, nous ne sommes plus en mesure de garantir notre approvisionnement électrique.» Il a souligné que jusqu'à ce jour, la politique n'a pas été en mesure d'apporter de solution. Cela a conduit à des risques économiques considérables pour la place industrielle suisse. Si les centrales nucléaires actuelles sont arrêtées après 50 ans de fonctionnement, à partir de 2035, nous devons importer 16 TW pour couvrir notre besoin en électricité. Si elles restent connectées au réseau durant 60 ans, ce chiffre passera à «seulement» 6 TWh. «Cela réduit déjà sensiblement le besoin d'importation», estime M. Minsch. «Tant qu'elles sont sûres, les centrales nucléaires actuelles doivent absolument continuer de fonctionner.» Car il serait bien trop optimiste de penser que l'électricité dont nous aurons besoin pourra être achetée à nos voisins européens.

Sécurité d'approvisionnement et protection du climat

Rudolf Minsch a ensuite cité les «piliers» mentionnés précédemment par trois grandes associations économiques



Le chef économiste d'Economiesuisse, Rudolf Minsch, met en garde contre les conséquences d'une pénurie d'électricité pour l'économie suisse. (Photo: Forum nucléaire suisse)

suisse, qui esquissent les exigences de notre industrie de production en matière d'approvisionnement électrique. Tout d'abord la sécurité, qui doit être planifiée de manière prévoyante. «Le besoin d'importation ne doit pas augmenter de manière illimitée», estime M. Minsch. En outre, la sécurité de l'approvisionnement et la protection du climat doivent être au cœur des réflexions et être clairement définies en tant qu'objectifs. L'économie plaide également en faveur d'une ouverture technologique qui intègre l'énergie nucléaire, afin de garantir et de développer la production d'électricité. Les autres exi-



Le professeur Peter Hettich présente les faiblesses de la Stratégie énergétique 2050. (Photo: Forum nucléaire suisse)

gences sont la rentabilité de l'approvisionnement et l'amélioration de l'efficacité électrique basée sur des incitations.

La parole a ensuite été donnée à Peter Hettich, professeur de droit public à l'Université de Saint-Gall, qui a abordé la question de la responsabilité de la sécurité d'approvisionnement du point de vue juridique. Répondre à cette question est délicat, en partie parce que le secteur suisse de l'énergie réunit une grande diversité d'acteurs à différents niveaux. Après avoir rappelé que la

responsabilité en matière d'établissement de conditions-cadres favorables incombe à la Confédération, Peter Hettich a qualifié l'annonce de l'investissement dans des centrales au gaz de «déclaration de faillite». L'universitaire considère que la mise à l'arrêt des centrales nucléaires après 50 ans, telle que décidée dans la stratégie énergétique, n'est plus d'actualité, une exploitation pendant 60 ans étant plus réaliste. «L'effet pervers est que nous devons continuer d'exploiter de vieilles centrales, mais que nous n'avons pas le droit d'en construire de nouvelles.» La question épineuse de la stratégie énergétique est de savoir s'il faut recourir aux centrales à gaz ou aux centrales nucléaires pour pallier les déficits d'électricité.

Le conseiller national Roger Nordmann (PS/VD) a, pour sa part, expliqué de quelle manière la sécurité d'approvisionnement en hiver peut être garantie avec le photovoltaïque. Le potentiel en Suisse est certes colossal, mais la cadence de construction des installations doit être multipliée par 17 par rapport à 2020. La fourniture de l'approvisionnement hivernal reste problématique. Les déficits pourraient toutefois être comblés par des solutions Power-to-Gas. Dans le pire des cas, 9 TWh de courant d'origine fossile (gaz) seraient nécessaires pour couvrir les besoins. Grâce à la décarbonation en cours dans les autres secteurs, notamment les transports et le bâtiment, une réduction de 86% des émissions de CO₂ serait malgré tout envisageable. →



Comment garantir l'approvisionnement électrique de la Suisse dans le futur? Débats menés par Roger Nordmann, Jürg Grossen, Reto Brennwald (animateur), Hans-Ulrich Bigler et Albert Rösti (de gauche à droite). (Photo: Forum nucléaire suisse)

«Il faut lever l'interdiction technologique pour ne pas passer à côté des réacteurs de nouvelle génération»

Lors du podium de discussion qui a suivi, entre les conseillers nationaux Albert Rösti (UDC/BE), Jürg Grossen (vert'libéraux Suisse/BE) et Roger Nordmann (SP/VD), et Hans-Ulrich Bigler, il a été également question de l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires. Les points de vue ont fortement divergé ici, mais le CN Roger Nordmann a souligné: «C'est notre passion pour l'électricité qui nous réunit.» Albert Rösti considère que la Stratégie énergétique 2050 est vouée à l'échec, «toutes les hypothèses relatives à l'approvisionnement électrique étant erronées». S'il ne partage pas ce point de vue, Jürg Grossen n'en critique pas moins le Conseil fédéral: «Si nous sommes aujourd'hui dans cette situation, cela est surtout dû à un vide au sein de notre gouvernement.» Selon le politicien, nous manquons de dirigeants. «Un dirigeant assume la responsabilité des dossiers dont il a la charge, et il recherche des solutions». La critique était aussi adressée explicitement à la conseillère nationale Simonetta Sommaruga.

Les intervenants ont exprimé leur accord sur la réglementation en vigueur, selon laquelle les centrales nucléaires suisses peuvent fonctionner aussi longtemps qu'elles sont sûres, même si cette exploitation à long terme représente un «gros risque» pour Roger Nordmann. Jürg Grossen a souligné, quant à lui, que «Si nous ne parvenons pas à développer, le plus rapidement possible, la capacité solaire donc nous avons besoin, nous devons, bien évidemment, continuer à faire fonctionner nos centrales nucléaires aussi longtemps que leur sécurité le permet.»

Hans-Ulrich Bigler et Albert Rösti ont critiqué notamment les exigences inutilement élevées imposées aux exploitants. «Nous n'avons cessé de durcir les conditions-cadres au niveau politique et fatalement, à un moment, nous faisons face à un problème de rentabilité», a déclaré Bigler. Pour Albert Rösti, la désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg fin 2019 en est la preuve flagrante: «Il n'y a pas un jour sans que nous n'évoquions la sécurité d'approvisionnement, et nous avons supprimé 3 TWh d'électricité à seulement quelques kilomètres d'ici. Il est scandaleux que notre pays soit menacé de pénurie d'électricité à cause d'une mauvaise décision.»

Pour MM. Rösti et Bigler, l'interdiction légale de construire de nouvelles centrales nucléaires constitue une interdiction technologique qui doit être levée pour que l'énergie nucléaire puisse continuer à être utilisée sur le long terme. «Si nous ne la supprimons pas, nous passerons à côté de la nouvelle génération de réacteurs nucléaires», estime Albert Rösti. Pour sa part, Roger Nordmann considère l'interdiction comme légitime, notamment en raison de la densité urbaine en Suisse. «En France, les centrales se situent en moyenne à 50 kilomètres des agglomérations. Ce n'est pas possible en Suisse.»

Jürg Grossen n'exclut pas totalement le recours au nucléaire à l'avenir. «Si nous constatons que de nouvelles technologies sont bien meilleures et présentent moins de risques, alors je peux tout à fait imaginer que nous fassions sauter les barrières. Mais la technologie disponible actuellement n'est pas satisfaisante.» (S.D./C.B./A.T.)

Journée des doctorantes et doctorants 2022 du département Énergie nucléaire et sûreté du PSI

La Journée des doctorantes et doctorants 2022 du département Énergie nucléaire et sûreté (NES) de l'Institut Paul Scherrer (PSI) s'est tenue le 3 mai. Pas moins de 34 doctorants et doctorantes ont présenté leurs travaux de recherche devant un jury qui a récompensé les meilleures présentations par des prix sponsorisés par le NES et le Forum nucléaire suisse.

Un prix de 500 francs a été décerné à Noemi Cerboni (doctorante de 1^{re} année) pour le travail intitulé «Preparation of Thin Film Sources of Metallic Radiolanthanides for the Measurement of Auger Electron Energies and Branching Ratios». Parmi les doctorants de deuxième année, c'est David Breitenmoser qui a remporté la palme. Son étude intitulée «Bayesian Calibration and Sensitivity Analysis of Non-Proportional Scintillation Models for Airborne Gamma-Ray Spectrometry Applications» a été récompensée par un prix de 1000 francs.

Dans la catégorie des doctorants de 3^e et 4^e années, deux prix de 1500 francs (dont un financé par le NES) ont, comme l'an dernier, été décernés. Ils ont été attribués à Andrea Cavaliere (3^e année) pour «FEM Heat Transfer Modelling with Tomography-Based SiCf/SiC Unit Cell» et à Mario Veicht (4^e année) pour «Settling the Half-Life of ³²Si: PSI's Contribution Towards solving a Long-Lasting Issue». (M.A.)



Des récompenses bien méritées. De gauche à droite: Pr Andreas Pautz (directeur du NES), David Breitenmoser (lauréat 2^e année), Noemi Cerboni (lauréate 1^{re} année), Andrea Cavaliere (lauréat 3^e année), Mario Veicht (lauréat 4^e année), Lukas Aebi (secrétaire général du Forum nucléaire suisse). (Photo: PSI)

Cours d'approfondissement du Forum nucléaire suisse

Thème: la promotion de la relève
Jeudi **29 novembre 2022** au Trafo de Baden.



Photo: Forum nucléaire suisse

15^e épisode du podcast «NucTalk»

Nous avons tendu le micro à Christoph Brand, CEO d'Axpo Holding AG depuis mai 2020. Celui-ci nous explique le rôle de l'énergie nucléaire pour Axpo et pour la sécurité de l'approvisionnement, et il nous donne son point de vue sur l'interdiction technologique. N'hésitez plus, abonnez-vous à notre podcast! (Uniquement en allemand)
www.nuklearforum.ch/podcast

Le Forum nucléaire et sa «Fanpage»

Retrouvez des informations sur le nucléaire, des faits et chiffres mais aussi des contenus insolites sur notre nouvelle page Facebook. Que vous soyez simplement fan ou abonné, nous vous attendons pour dialoguer! (Uniquement en allemand)
www.facebook.com/NuklearforumSchweiz



Photo: Forum nucléaire suisse

38th Short Course on Multiphase Flows

Des cours sur le thème «Modelling and Computation of Multiphase Flows» auront à nouveau lieu à l'EPF de Zurich du **12 au 16 septembre 2022**. Ces cours modulaires comprennent des séries bien coordonnées de conférences. Ils s'adressent aux ingénieurs et ingénieures et aux chercheuses et 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

14^e séminaire de base de la SOSIN

La Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN) prévoit d'organiser du **3 au 6 octobre 2022** à Macolin son séminaire de base sur l'énergie nucléaire. Il comportera plusieurs modules (physique, politique et environnement, histoire, énergie, combustible, sûreté, radioactivité et accidents) ainsi qu'une visite de la centrale nucléaire de Gösgen.

www.kernfachleute.ch



Photo: SOSIN

Fachverband für Strahlenschutz

53^e conférence annuelle
Du **26 au 30 septembre 2022**, au Bodenseeforum, à Constance
www.fs-ev.org

Impressum

Rédaction:

Marie-France Aepli (M.A., rédactrice en chef); Lukas Aebi (L.A.);
Stefan Diëpenbrock (S.D.); Aileen von den Driesch (A.D.);
Benedikt Galliker (B.G.); Matthias Rey (M.Re.); Michael Schorer (M.S.)

Traduction:

Claire Baechel (C.B.); Dominique Berthet (D.B.); Aude Thalmann (A.T.)

Editeurs:

Hans-Ulrich Bigler, président
Lukas Aebi, secrétaire général

Forum nucléaire suisse
Frohburgstrasse 20, 4600 Olten

Tél. +41 31 560 36 50
info@nuklearforum.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 2022 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.

