

Juillet 2024

BULLETIN 2



Rafael Grossi fait l'éloge des centrales nucléaires suisses

Page 32

La Norvège, nouveau pays entrant?

Page 4

La technique nucléaire pour lutter contre les microplastiques

Page 17

Gros plan sur l'éventuelle poursuite de l'exploitation de Beznau

Page 20

Table des matières

Éditorial

Il faut donner plus de poids à l'atome. Même s'il a déjà Grossi. 1

Entretien avec...

L'énergie nucléaire dans le monde: perception des populations et comparaison avec la Suisse 2

Informations de fond

Protection de la nature et prospérité: la Norvège envisage de se lancer dans le nucléaire 4

Natrium, la centrale nucléaire de génération IV de TerraPower 9

Trilemme énergétique: la Suisse se classe au troisième rang mondial 14

Des microplastiques omniprésents, même en Antarctique 17

Décryptage

Beznau, immortelle? 20

Brèves nucléaires

En Suisse 23

À l'étranger 24

La der nucléaire

Promouvoir ensemble les technologies énergétiques 28

Couac!

Une joie mesurée 31

Nouvelles internes

20^e Assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse 32

Concours national Science et jeunesse: prix spécial du Forum nucléaire suisse 34

Journée des doctorants du centre Nuclear Engineering and Sciences du PSI 35

Pour mémoire 36

Il faut donner plus de poids à l'atome. Même s'il a déjà Grossi.



Lukas Aebi

Secrétaire général
du Forum nucléaire suisse

Chers Amis du Forum nucléaire,

À la fin mai, le Forum nucléaire a eu le plaisir d'accueillir un invité de marque, Rafael Mariano Grossi, directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), qui à notre invitation et en exclusivité est intervenu en qualité d'orateur principal lors de notre assemblée générale, tenue non loin de l'aéroport de Zurich. En plus du discours de M. Grossi, le programme, très chargé, prévoyait des visites et des entretiens avec le conseiller fédéral Guy Parmelin ainsi qu'avec de nombreux parlementaires et journalistes. Les échanges avec M. Parmelin, chef du Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche, ont avant tout porté sur le thème de la formation et de la recherche dans le domaine nucléaire en Suisse. Si l'on veut que l'atome continue de jouer un rôle important dans le mix énergétique suisse, il est urgent de consacrer davantage de moyens à la formation de la relève dans notre pays. En outre, il faut allouer plus d'argent à la recherche nucléaire, afin de permettre l'accompagnement scientifique de l'exploitation à long terme de nos centrales et la construction éventuelle de nouvelles installations.

Il est donc grand temps de donner plus de poids à l'énergie nucléaire en Suisse. C'est là un objectif que, pour notre part, nous souhaitons poursuivre dès le présent numéro, en montrant à l'aide d'exemples concrets – tels que les prix décernés aux jeunes et aux doctorants – comment il est possible d'encourager la relève de manière très ciblée. Quant au groupe Axpo, c'est en envisageant de prolonger jusqu'à 70 ans la durée d'exploitation possible de la centrale nucléaire de Beznau qu'il s'emploie à donner davantage de poids à l'atome. Rainer Meier, ancien chef de la communication du groupe, nous en dit plus à la rubrique Décryptage. En outre, vous trouverez notamment dans ce numéro des informations de fond sur TerraPower, le développeur de SMR fondé par Bill Gates, sur l'entreprise norvégienne Norsk Kjekraft, ainsi que sur les résultats obtenus par la Suisse lors de la dernière édition du trilemme énergétique.

S'il est une chose que l'exposé de Rafael Grossi a démontrée de manière éclatante, c'est que l'énergie nucléaire ne pourra nous aider à relever les défis du changement climatique et de la sécurité d'approvisionnement que si nous recommençons à la voir comme une chance et non plus seulement comme un risque. De nombreux pays d'Europe et du Monde nous montrent la voie à suivre. Alors oui, il faut donner plus de poids à l'atome, même s'il a déjà Grossi.

Avec mes salutations nucléaires

L'énergie nucléaire dans le monde: perception des populations et comparaison avec la Suisse

Comment l'énergie nucléaire est-elle perçue dans les autres pays, quelle est l'opinion des populations à son sujet, et quelles sont les différences avec la vision en Suisse? Nous nous sommes entretenus avec Carolyn Aubry, originaire du Canada, Damian Gbiorczyk, de Pologne, Elena Raetz, de Russie, et Mark Whitwill, d'Angleterre.

Quel est le statut de l'énergie nucléaire dans vos pays d'origine et, d'après vous, comment celle-ci est-elle perçue par la population?

Carolyn Aubry: Actuellement, le Canada déploie des efforts considérables pour moderniser son secteur nucléaire. Les réacteurs existants sont en cours de modernisation, et parallèlement, le pays se prépare à autoriser les petits réacteurs modulaires (SMR).

De manière générale, je pense que le peuple canadien soutient l'énergie nucléaire. Le Canada possède une longue histoire dans le domaine de la production d'énergie, que cela concerne le pétrole, le gaz, l'hydraulique, l'éolien, le solaire, la géothermie, ou le nucléaire. Cela a peut-être été rendu possible par le fait que nous avons été capables de mener un débat public ouvert sur la politique énergétique, dans le cadre duquel l'énergie nucléaire a d'emblée été considérée comme faisant partie du mix énergétique.

La taille du Canada peut aussi expliquer la manière dont nous percevons l'énergie nucléaire, car de nombreuses personnes ne voient jamais de réacteur.

Damian Gbiorczyk: En Pologne, la population est favorable à l'énergie nucléaire, mais les avancées ont été freinées par un gouvernement souvent inefficace, et corrompu. L'énergie nucléaire est en projet depuis plus de 50 ans, mais à l'heure actuelle, le pays ne compte qu'un petit réacteur de recherche. Des projets de construction d'une centrale nucléaire ont été lancés, mais l'achèvement d'ici à 2035 reste incertain.

Elena Raetz: L'énergie nucléaire est une composante essentielle du développement économique du pays, et elle a encore un bel avenir devant elle en Russie. Plusieurs thèmes autour du nucléaire suscitent actuellement un vif intérêt et continuent à être développés, comme par

exemple les installations nucléaires destinées à plusieurs objectifs (production d'énergie, recherche, etc.), la fermeture du cycle du combustible et la gestion des assemblages combustibles usés et des déchets radioactifs.

De nombreuses hautes écoles et universités forment des spécialistes en technique nucléaire. Ces filières d'études restent très appréciées, bien qu'elles soient aussi très exigeantes. La population a globalement un avis positif concernant le développement de l'énergie nucléaire.

Mark Whitwill: La Grande-Bretagne a été l'un des pays pionniers dans le domaine de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Malheureusement, une vague anti-nucléaire est montée dans les années 1970 et 1980, en partie dans le sillage des accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl, mais aussi en raison du mouvement contre la prolifération des armes nucléaires.

Avec le temps, ce sentiment anti-nucléaire s'est estompé, notamment grâce à l'action de militants écologistes de notoriété tels que James Lovelock, Patrick Moore et Zion Lights, qui ont argumenté en faveur du rôle joué par l'énergie nucléaire dans la lutte contre le réchauffement climatique. Actuellement, tous les gros partis politiques britanniques soutiennent, ou du moins tolèrent, l'énergie nucléaire.

Qu'est-ce qui vous fait penser que l'énergie nucléaire bénéficie de cette image dans votre pays d'origine? De quelle manière l'industrie, les entreprises et le gouvernement informent-ils sur l'énergie nucléaire?

Carolyn Aubry: Je pense surtout que les autorités de sûreté nucléaire bénéficient de la confiance de la population, et qu'il existe un sentiment de fierté pour notre savoir-faire indigène, notamment pour les réacteurs

CANDU. Par ailleurs, la population canadienne profite aussi des avantages économiques liés à l'approvisionnement indigène en uranium grâce à l'une des plus grosses mines au monde, à Cigar Lake. L'engagement pris par le gouvernement d'étudier les SMR offre des perspectives de carrière sur le long terme dans l'industrie nucléaire, et propose une solution de réorientation aux personnes qui travaillent dans le secteur pétrolier et gazier.

Damian Gbiorczyk: La politique d'information sur l'énergie nucléaire en Pologne n'est pas très marquée, mais c'est aussi le cas pour d'autres sujets. En Suisse, en revanche, on accorde une grande importance aux relations publiques. Les visites organisées pour les classes scolaires et la communication transparente sur les installations et leurs mesures de sécurité renforcent la confiance dans la technologie.

Elena Raetz: Les centrales nucléaires en exploitation couvrent environ 20% du besoin en électricité de la Russie. Les décisions relatives à la construction et à l'exploitation des centrales nucléaires incombent au gouvernement russe. Il s'agit là d'une différence importante par rapport à la Suisse. La stratégie énergétique russe prévoit une augmentation de la production nucléaire jusqu'à

atteindre 25% d'ici à 2045. Plusieurs projets portent sur le remplacement des réacteurs qui seront prochainement mis à l'arrêt par des installations modernes de nouvelle génération. Je pense que la prolongation de la durée de fonctionnement à 60 ans doit, elle aussi, faire l'objet de discussions.

L'activité nucléaire est très présente en Russie. Le pays développe des technologies dernier cri, fournit des matières premières et forme du personnel pour l'industrie nucléaire. Travailler dans la technique nucléaire est un privilège. Et il n'y a pas besoin de faire beaucoup de publicité, cette branche a de l'avenir en Russie. Seules les personnes les mieux formées travaillent dans ce secteur qui touche à toutes les disciplines des sciences naturelles. Les derniers développements tels que la numérisation attirent aussi beaucoup les jeunes.

Mark Whitwill: En Suisse, le discours sur l'énergie nucléaire est rarement positif, en particulier de la part des militants écologistes. Je me demande pourquoi dans le monde anglophone, des défenseurs de l'environnement reconnaissent ouvertement les avantages de l'énergie nucléaire dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, mais pas dans les régions germanophones. (S.D./C.B.)

Nos interlocuteurs:



Carolyn Aubry
(Canada), Procurement Coordinator and Program Manager à la plateforme d'approvisionnement Plantsupply



Damian Gbiorczyk
(Pologne), ingénieur sécurité TIC à la centrale nucléaire de Gösgen



Elena Raetz
(Russie), responsable du service Gestion de la qualité/Gestion environnementale à la centrale nucléaire de Gösgen



Mark Whitwill
(Angleterre), Senior Advisor à la centrale nucléaire de Gösgen

Protection de la nature et prospérité: la Norvège envisage de se lancer dans le nucléaire

Les besoins en électricité de la Norvège sont en passe d'augmenter de manière significative, et le pays souhaite que son approvisionnement reste respectueux de l'environnement. Il n'existe plus guère de potentiels hydroélectriques à exploiter, et les projets solaires et éoliens se heurtent à des résistances. C'est pourquoi l'énergéticien Norsk Kjernekraft propose de recourir à de petites centrales nucléaires.

Nous nous sommes entretenus avec Steffen Oliver Sæle, Chief Technology Officer (CTO) de l'entreprise d'énergie nucléaire Norsk Kjernekraft. Conscient de sa responsabilité envers les générations futures, notamment en ce qui concerne la réduction des impacts environnementaux et la protection de la nature, M. Sæle s'investit avec passion pour que les ménages et l'industrie norvégiens continuent de bénéficier d'un approvisionnement en électricité suffisant.

Approvisionné à quelque 90% par la force hydraulique et à 10% par l'éolien, le réseau électrique norvégien est l'un des plus propres au monde, mais il ne couvre que la moitié environ des besoins en énergie primaire du pays. La Norvège possède aussi une industrie du gaz et du pétrole. Mais «la croissance démographique et l'émergence de nouvelles activités industrielles entraînent un accroissement des besoins en énergie propre», explique Steffen Oliver Sæle.

Selon les experts, la demande d'énergie propre va augmenter de 200 à 300% d'ici 2050, ce qui représente un défi pour l'ensemble du pays. «Les besoins sont tout simplement gigantesques. Pour produire de l'électricité en quantité suffisante tout en préservant l'environnement, nous aurons besoin d'une source d'énergie fortement évolutive avec une très faible empreinte carbone», résume le CTO.

Un potentiel hydroélectrique en grande partie épuisé

Il serait en principe logique de poursuivre le développement de l'énergie propre qu'est la force hydraulique. Mais en la matière, «les potentiels sont majoritairement épuisés», déclare M. Sæle. Sans compter que les réglementations environnementales sont plus strictes qu'au siècle dernier, ce qui limite la construction de nouvelles centrales hydroélectriques. Il est certes encore possible de développer quelque peu les centrales au fil de l'eau et les centrales de pompage-turbinage, mais cela ne suffira pas, et de loin, à couvrir les besoins à venir. Alors que faire?

En Norvège, certains plaident en faveur d'un développement de grande ampleur du photovoltaïque et de l'éolien. Mais comme l'a montré le parc éolien érigé sur la péninsule de Fosen, ce type d'installations peut présenter certains antagonismes avec la nature et la faune.



L'environnement tient à cœur à Steffen Oliver Sæle. Ce père de famille entend protéger la nature et le climat tout en assurant à la Norvège un approvisionnement en électricité suffisant grâce à de petites centrales nucléaires. (Photo: Steffen Oliver Sæle)

Pour Steffen Oliver Sæle, il existe une meilleure solution: les centrales nucléaires. Son projet bénéficie de l'accompagnement d'une entreprise suisse, Apollo Plus (voir encadré p. 8).

Les atouts des centrales nucléaires

«L'énergie nucléaire renforce la sécurité d'approvisionnement, réduit les atteintes à la nature et stabilise les prix de l'électricité», argumente Steffen Oliver Sæle. Avec son employeur, Norsk Kjernekraft, il s'efforce de jeter les bases de la construction et de l'exploitation de centrales nucléaires en Norvège. «Comme sites potentiels, nous étudions de préférence des emplacements proches d'industries existantes ou en projet», explique le CTO. «Le transport de l'énergie du producteur au gros consommateur peut ainsi être organisé de manière efficace et écologique, car il nécessite un développement relativement faible du réseau», précise-t-il.

De son point de vue, les centrales nucléaires offrent une disponibilité élevée et fournissent de très grandes quantités d'énergie de manière planifiable, ce qui les rend très attractives pour les entreprises industrielles. Autres

avantages: «Les centres de calcul, les installations de production d'hydrogène et de dérivés d'hydrogène ainsi que les aciéries et d'autres branches industrielles bénéficieraient non seulement d'un approvisionnement électrique fiable, mais pourraient également tirer parti de la chaleur industrielle et des rejets de chaleur d'une centrale nucléaire qui serait construite à proximité». Tout cela avec un encombrement au sol très réduit.

Les SMR offrent une bonne évolutivité et sont relativement faciles à financer

Dans son travail quotidien, M. Sæle constate que les avantages de l'atome sont reconnus par de nombreuses entreprises ainsi que par des particuliers très fortunés, qui aimeraient que cette technologie soit exploitée. De nombreux acteurs souhaitent donc apporter leur contribution à la construction de centrales nucléaires en Norvège, que ce soit par des investissements ou du savoir-faire. Si la société Norsk Kjernekraft entend avant tout recourir à de petits réacteurs modulaires (SMR), c'est parce qu'ils ne requièrent pas d'investissement aussi important que les grands réacteurs de puissance, ce qui les rend plus accessibles. En outre, ils peuvent



La Norvège est un paradis naturel doté de nombreux fjords et lacs comme celui de Ståvatn dans la province de Telemark. Étant donné qu'il n'est plus possible de développer l'hydroélectricité de manière significative, la construction de petits réacteurs modulaires à très faible empreinte écologique est envisagée afin que les générations futures puissent disposer de plus d'électricité tout en continuant à vivre dans une nature intacte.

(Photo: Iñaki Polo via Dreamstime)

être implantés de manière flexible à proximité de sites industriels, en offrant une puissance adaptée aux besoins de ces derniers puisqu'il est possible de construire plusieurs SMR dans un même lieu.

Même s'il s'engage passionnément en faveur de l'atome, M. Sæle reste réaliste, convaincu que la Norvège aura à l'avenir besoin de toutes les sources d'énergie propres existantes. En plus du nucléaire, il faudra davantage d'hydroélectricité, de solaire et d'éolien. Mais comme ces deux dernières technologies se caractérisent par une production intermittente, elles entraînent des fluctuations de prix. De surcroît, elles nécessitent un énorme développement des raccordements au réseau, car bien souvent, l'électricité n'est pas produite là où l'on en a besoin. Enfin, la consommation de ressources, par exemple

l'emprise au sol des installations de production, est également plus élevée que pour l'énergie nucléaire.

De nombreuses communes souhaitent accueillir des centrales nucléaires

Pour M. Sæle, la très faible empreinte écologique de l'énergie nucléaire est l'une des principales raisons pour lesquelles les communes norvégiennes souhaitent miser sur cette technologie. À cela s'ajoute la perspective d'assurer des emplois locaux pour plusieurs générations dans la centrale nucléaire ou dans des installations industrielles alimentées à l'énergie nucléaire. «Des dizaines de communes, de comtés et de régions intéressés par cette technologie nous ont contactés de leur propre initiative», relève-t-il.



En avril 2024, le géant de l'énergie DL Energy a signé un accord de coopération avec Norsk Kjernekraft et la commune norvégienne d'Austrheim. Sur la photo, on voit des représentants de la commune d'Austrheim, Jonny Hesthammer (CEO de Norsk Kjernekraft), Natalia Amosova d'Apollo Plus, Trond Mohn (millionnaire, homme d'affaires et philanthrope norvégien) ainsi que des représentants du développeur de réacteurs américain X-energy et du Sud-coréen DL Energy. (Photo: Oddgeir Øystese / NRK)

L'entreprise Norsk Kjernekraft, fondée en 2022, a ainsi pu identifier dans toutes les provinces de Norvège plusieurs sites potentiels qui se prêteraient à l'implantation de SMR. «L'adhésion des habitants de la commune est un point central pour nous», souligne M. Sæle: «Ce n'est que lorsque cette adhésion existe que nous classons un site comme approprié». La leçon tirée d'autres projets énergétiques est que le public doit être impliqué très tôt. Le CTO est lui-même toujours étonné de voir à quel point la population est ouverte à l'énergie nucléaire. «Nous n'obtiendrons l'adhésion de l'opinion publique qu'avec une communication franche et transparente». L'entreprise Norsk Kjernekraft admet d'ailleurs sans détour que la mise en place du nucléaire commercial en Norvège prendra du temps et elle communique de manière appropriée sur les risques de cette technologie. «Le risque zéro n'existe pas, même si, statistiquement, l'énergie nucléaire est aussi sûre que d'autres technologies bas carbone», déclare le CTO.

Les communes de Halden, Aure, Heim, Narvik, Mo i Rana, Vardø, Austrheim et Øygarden – pour n'en citer que quelques-unes – abritent, elles aussi, des sites prometteurs pour l'implantation de SMR. Selon M. Sæle, plusieurs communes des provinces d'Agder et de Telemark possèdent également des sites intéressants. À Austrheim, Norsk Kjernekraft effectue des travaux préparatoires pour une étude de faisabilité relative à l'exploitation de SMR. Un partenariat a été conclu avec DL Energy, un investisseur et développeur de projet expérimenté basé en Corée du Sud. Cette société, qui a déjà construit de nombreuses centrales nucléaires, croit au potentiel et à l'avenir de l'atome en Norvège. En Norvège, les SMR pourraient aussi intervenir dans l'approvisionnement en électricité des centres de données énergivores utilisés dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA).

Travail de persuasion nécessaire auprès du Parlement norvégien

L'énergie nucléaire est une source d'énergie très appréciée des Norvégiennes et des Norvégiens. Les sondages le montrent, tout comme l'important soutien accordé à Norsk Kjernekraft par des institutions et des communes. «Selon une enquête d'opinion toute récente, l'énergie nucléaire a même dépassé la force hydraulique, devenant ainsi la source d'énergie la plus populaire au sein de la



Dans la commune d'Austrheim, le site pressenti pour la construction de SMR a la taille d'un stade de football. Il se trouve à quelques kilomètres de la raffinerie de pétrole Mongstad. Cette installation, qui est aujourd'hui l'un des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre du pays, pourrait ainsi un jour être alimentée par une électricité respectueuse du climat. (Photo: commune d'Austrheim)

population», déclare le CTO, qui ajoute: «Je vois la raison de ce succès dans le fait que depuis quelques années, les médias parlent plus souvent de l'énergie nucléaire, et de manière plus factuelle et plus neutre». M. Sæle souhaite, par son investissement personnel, contribuer à ce que ce soutien se maintienne dans les années à venir.

La construction de centrales nucléaires ne fait toutefois pas l'unanimité en Norvège. Selon le CTO, cette technologie est souvent rejetée par principe, sans justification particulière. Lorsque des critiques plus concrètes sont exprimées, elles sont similaires à celles que l'on entend en Suisse. La plupart du temps, elles peuvent être désamorçées par un exposé factuel de la réalité. Norsk Kjernekraft n'est pas la seule à travailler sur cette question: des universités, des communes et les principaux groupes d'intérêt qui connaissent les avantages de l'atome en font autant.

L'une des critiques formulées porte par exemple sur l'absence d'expérience du pays en matière d'énergie nucléaire. «Cela ne correspond pas à la réalité», affirme M. Sæle. L'Institute for Energy Technology (IFE) norvégien a exploité pas moins de quatre réacteurs de re-

cherche à ce jour, ce qui lui a permis d'acquérir une précieuse expérience. Néanmoins, la Norvège n'a encore jamais possédé de réacteur nucléaire destiné à la production commerciale d'électricité.

Selon M. Sæle, son entreprise a encore une tâche ardue devant elle: convaincre les plus hauts responsables politiques du pays. Dans ce milieu, l'enthousiasme pour l'énergie nucléaire présente encore une importante marge de progression, même si plusieurs des principaux partis politiques ont récemment manifesté un grand soutien envers l'atome. Si cette évolution se poursuit, il se pourrait que l'énergie nucléaire puisse tabler sur une large adhésion politique à l'échelon national dès 2024/2025.

Le premier SMR pourrait être en service en 2035

Dans son «approche par étapes», l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) constate qu'il faut 10 à 15 ans à un pays qui se lance dans le nucléaire pour mettre en service sa première centrale. «Mais la Norvège possède déjà une grande partie de l'expertise requise, grâce notamment à ses réacteurs de recherche», nuance M. Sæle, «et elle dispose également de l'infrastructure et de l'autorité de sûreté nécessaires à un tel projet».

D'autres pays ayant des projets de SMR prévoient de mettre en service leur premier réacteur de ce type au début des années 2030. Selon M. Sæle, Norsk Kjernekraft n'ambitionne pas de faire partie des premiers utilisateurs de cette technologie, «mais plutôt de tirer des enseignements de ces premiers projets». Pour son premier SMR, l'entreprise vise une ouverture de chantier vers 2030 et une mise en service aux alentours de 2035. Le respect de ce calendrier dépend toutefois de différents facteurs, tels que la rapidité avec laquelle un SMR cor-

respondant aux besoins atteindra la maturité commerciale et la mise en place des chaînes d'approvisionnement nécessaires en Norvège.

Même si la réalisation du projet prenait un peu plus de temps que prévu, le premier SMR du pays pourrait encore être disponible en temps utile: on ne s'attend à une très forte hausse de la consommation d'électricité qu'entre le milieu des années 2030 et le début des années 2040. «Étant donné que nous avons lancé notre programme au début des années 2020, nous disposons de bonnes conditions de départ», relève M. Sæle. Et de conclure: «Si nous réussissons à offrir un avenir énergétique sûr à la Norvège grâce à nos installations nucléaires, j'en éprouverai une joie immense». (B.G./D.B.)

Le rôle d'Apollo Plus

Norsk Kjernekraft bénéficie notamment du soutien d'une entreprise suisse, Apollo Plus, qui accompagne le projet depuis sa création en tant que partenaire stratégique, apportant à l'équipe norvégienne son expérience internationale ainsi que ses connaissances et son expertise dans des domaines allant de la planification à la désaffectation d'installations nucléaires, en passant par leur construction et leur exploitation. Apollo Plus fait également profiter l'entreprise norvégienne de son réseau mondial d'acteurs clés de la branche. Les collaborateurs et collaboratrices d'Apollo Plus s'investissent avec passion et conviction aux côtés de Norsk Kjernekraft pour préparer l'entrée de la Norvège dans le nucléaire commercial.

Natrium, la centrale nucléaire de génération IV de TerraPower

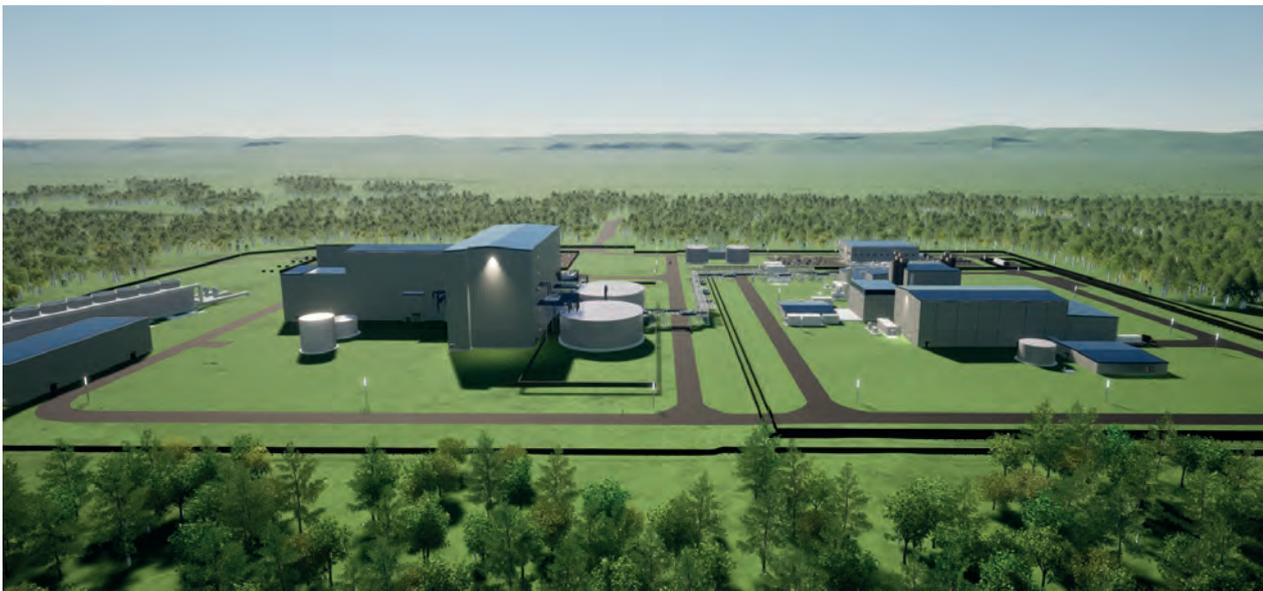
Le développeur de réacteurs TerraPower exploitera la première centrale nucléaire de génération IV à caloporteur sodium sur le site de Kemmerer (États-Unis) pour remplacer une centrale au charbon. La demande de permis de construire a été déposée et la construction de la partie non nucléaire de l'installation a été lancée récemment. C'est l'occasion de s'intéresser d'un peu plus près au réacteur de Bill Gates.

C'est en août 2020 que TerraPower et GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) ont présenté Natrium, leur projet de système commercial de production et de stockage d'électricité. Les deux entreprises entendent mettre en service une première centrale de démonstration d'ici la fin de la décennie sur le site de Kemmerer, dans l'État du Wyoming, aux États-Unis. TerraPower est une société américaine de développement de réacteurs créée en 2006 par Bill Gates, cofondateur de Microsoft. GEH joue le rôle de co-développeur technologique.

Vue d'ensemble de la technologie de Natrium

La pièce maîtresse du système Natrium est un réacteur rapide refroidi au sodium d'une puissance électrique de 345 MW. Il s'agit d'un réacteur de génération IV, donc d'un réacteur avancé, qui générera de la chaleur à haute température pouvant être soit utilisée immédiatement

pour produire de l'électricité, soit emmagasinée pendant plusieurs heures dans un réservoir intégré. Selon TerraPower, le système de stockage de Natrium sera capable de garder en réserve des quantités d'énergie énormes, plusieurs dizaines de fois supérieures à celles qui peuvent être emmagasinées dans les dispositifs de stockage courants. Il permettra de produire de l'électricité de manière flexible dans un réseau d'électricité comportant une part élevée d'énergies renouvelables. Grâce à son réservoir de chaleur, Natrium pourra porter sa puissance à 500 MW pendant plus de cinq heures et demie afin de couvrir les pics de demande d'électricité. Le système de stockage d'énergie de Natrium repose sur des sels liquides tels que ceux utilisés par les centrales solaires thermodynamiques pour produire de l'électricité. Natrium pourra aussi fournir de la chaleur industrielle. →



Représentation photoréaliste de Natrium, le projet de réacteur de démonstration de TerraPower, qui sera construit sur le site de Kemmerer, aux États-Unis. (Photo: TerraPower)

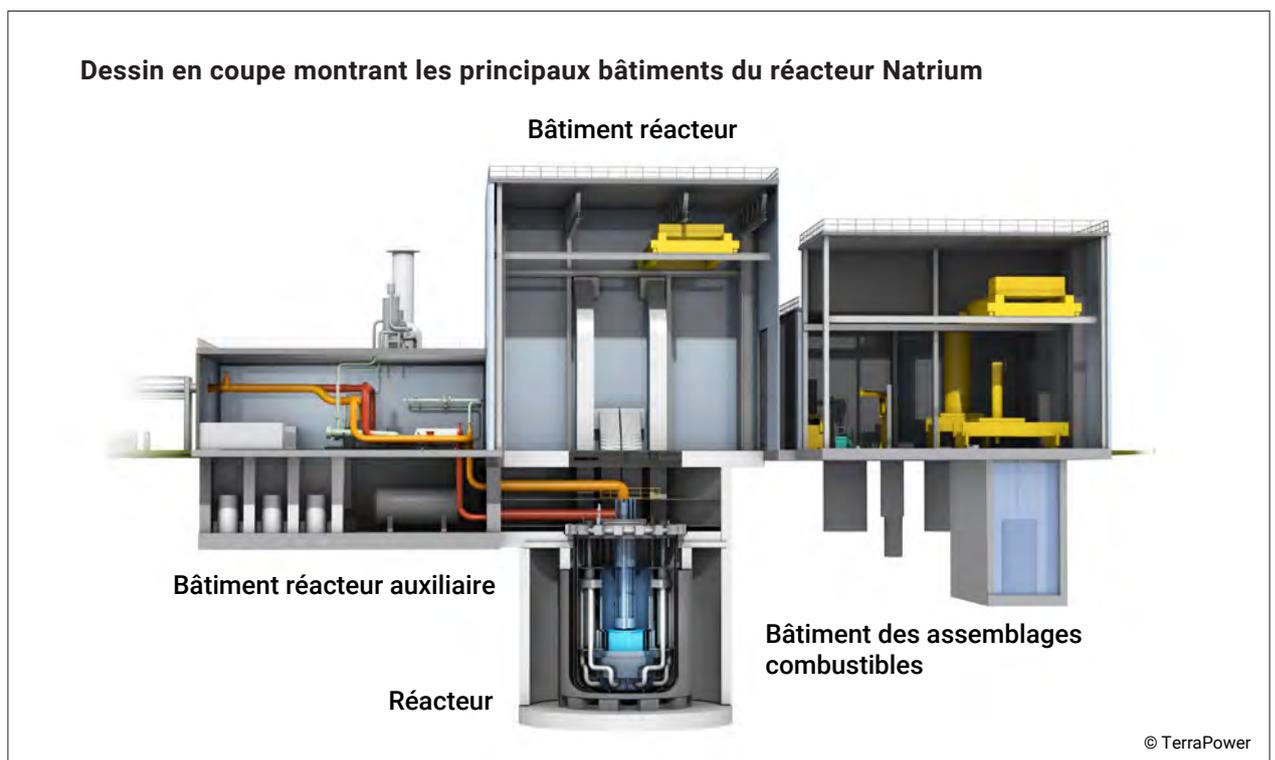
Natrium utilisera du combustible HALEU (High-Assay Low-Enriched Uranium) sous la forme de crayons combustibles solides. L'HALEU est enrichi de 5 à 20% en uranium 235, fissile. TerraPower affirme que son réacteur utilise l'uranium quatre fois plus efficacement que les réacteurs à eau légère. Pendant longtemps, le combustible HALEU devait être importé depuis la Russie, mais les États-Unis et des pays comme la Grande-Bretagne sont en train de se doter de capacités permettant de le produire eux-mêmes et de s'affranchir ainsi de cette dépendance.

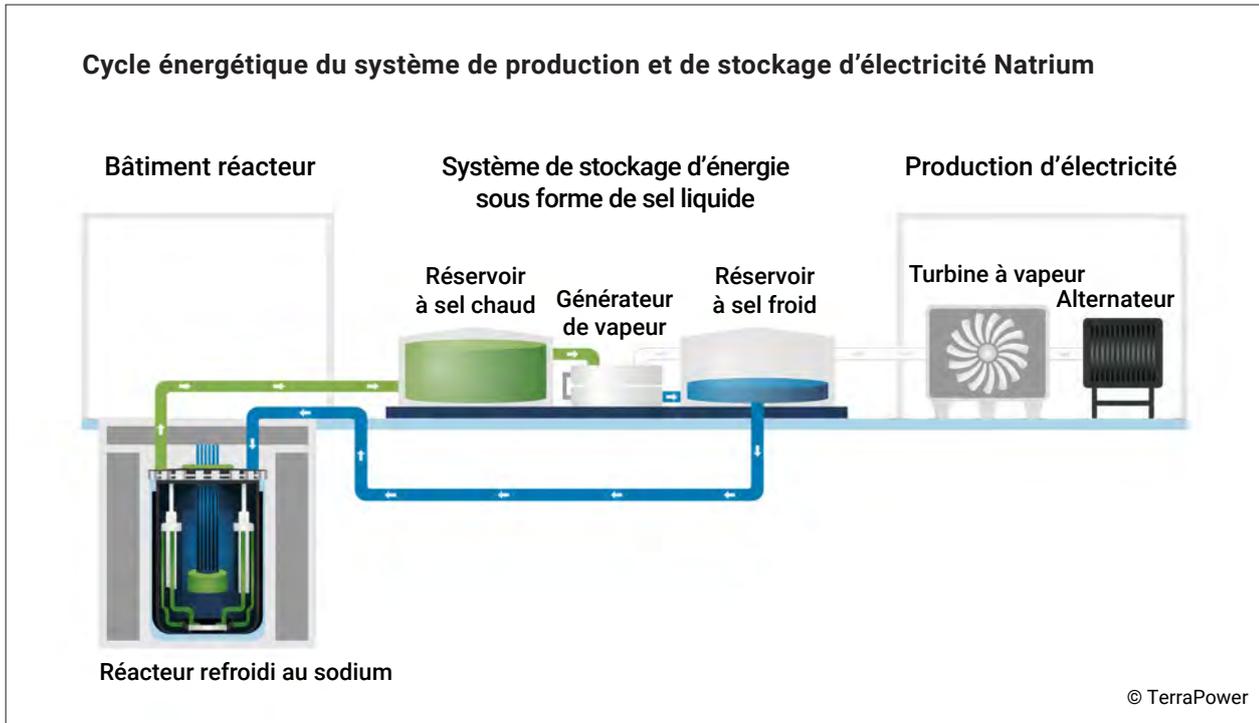
Selon TerraPower, l'un des atouts de la technologie Natrium est que «son architecture d'un genre nouveau constitue une simplification par rapport aux types de réacteurs existants. Les équipements non nucléaires, qu'ils soient mécaniques, électriques ou autres, sont placés dans des structures séparées, ce qui réduit la complexité et les coûts». Par exemple, le nombre d'interfaces est moins élevé. Cette architecture devrait déboucher sur des économies significatives, car elle permet de construire de grandes parties de l'installation selon les standards de l'industrie conventionnelle. Par rapport

aux grands réacteurs, la quantité de béton de qualité nucléaire requise est réduite d'environ 80% par mégawatt de puissance électrique. En outre, la compacité, le refroidissement passif et le fonctionnement à pression quasi atmosphérique de Natrium sont également source d'économies, car ils évitent le recours aussi bien à de coûteux systèmes de pressurisation qu'à des structures résistantes à la pression.

Des caractéristiques de sûreté intrinsèques

La conception de Natrium présente de nombreuses caractéristiques de sûreté intrinsèques destinées à empêcher les accidents. Natrium est un réacteur de type piscine, de sorte que la cuve ne comporte pas de traversées en dessous du couvercle, ce qui exclut toute possibilité de fuite ou de perte de caloporteur dues à une rupture de conduite. Quant au caloporteur, du sodium liquide, il a un point d'ébullition bien plus élevé que l'eau utilisée pour refroidir les réacteurs conventionnels: 882 degrés Celsius. Et «le réacteur fonctionnera à une température de plus de 350 degrés Celsius inférieure au point d'ébullition du sodium», indique TerraPower.





En outre, le sodium liquide possède une excellente conductivité thermique et peut absorber de grandes quantités de chaleur, de sorte que même en cas de circulation naturelle, la chaleur peut être évacuée efficacement du cœur du réacteur. Aucune pompe ni alimentation électrique de secours n'est nécessaire pour maintenir des conditions sûres après l'arrêt.

«Le réacteur dispose de ce que l'on appelle un coefficient de température global négatif, si bien qu'en cas de hausse inattendue de la température, il recherche automatiquement des conditions sûres à basse puissance», explique le développeur. Les caractéristiques de sûreté intrinsèques du réacteur et le fait qu'il fonctionne à une pression quasi atmosphérique signifient également que la centrale nucléaire n'a pas besoin d'être entourée d'une vaste zone de protection d'urgence, ce qui «élargit considérablement l'éventail des sites possibles», indique TerraPower.

Remplacement des centrales au charbon : continuer à utiliser l'infrastructure existante

Pour TerraPower, Natrium est le candidat idéal au remplacement des centrales au charbon en fin de vie.

Construire un tel réacteur sur un site de production d'énergie existant permet de réutiliser une partie des infrastructures déjà en place, comme la tour de refroidissement ou le raccordement au réseau électrique. De plus, la présence d'une main-d'œuvre spécialisée dans le secteur de l'énergie simplifie le recrutement tout en offrant des emplois stables et bien rémunérés à la population locale.

Sur les 18 hectares occupés par l'installation, quelque 6,5 sont réservés à l'îlot nucléaire. La surface au sol de Natrium est donc inférieure à celle des centrales nucléaires actuelles comportant plusieurs tranches à eau légère. À puissance nominale identique, Natrium a également une emprise au sol moindre que d'autres réacteurs de génération IV.

Genèse du projet de Kemmerer

TerraPower a présenté le projet Natrium en août 2020. En octobre 2020, le développeur s'est vu allouer un financement de départ de 80 millions de dollars par le Département américain de l'énergie (DOE) dans le cadre de l'Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP).



L'objectif de ce programme est d'accélérer la construction de réacteurs nucléaires de démonstration avancés aux États-Unis en soutenant l'industrie privée. L'accord de coopération conclu à ce titre entre le DOE et TerraPower a été formalisé en mai 2021.

Selon le programme ARDP, deux réacteurs nucléaires avancés doivent être testés, homologués et construits en l'espace de sept ans. Dans ce contexte, le calendrier fixé par le Congrès pour TerraPower prévoyait l'achèvement de l'installation de démonstration Natrium à l'horizon 2028. Fin 2022, TerraPower a annoncé que la mise en service de son démonstrateur serait retardée d'environ deux ans, la Russie n'étant plus un fournisseur acceptable d'HALEU pour les États-Unis en raison de la guerre en Ukraine. En mai 2024, TerraPower a confirmé qu'elle visait dorénavant une mise en service en 2030.

Le partenariat public-privé conclu entre le DOE et le développeur du réacteur repose sur le partage des coûts. En d'autres termes, le secteur privé doit injecter dans le projet des montants égaux à ceux versés par le secteur public. Le même soutien a été accordé à la société X-energy pour son réacteur à haute température refroidi au gaz Xe-100. En plus de son financement de départ

de 160 millions de dollars, le DOE octroiera dans les prochaines années aux deux projets un total de 2,5 milliards de dollars, comme le prévoit la Bipartisan Infrastructure Law.

En juin 2021, TerraPower a annoncé que le premier démonstrateur Natrium serait construit dans l'État du Wyoming, sur le site d'une centrale au charbon vouée à la fermeture. Selon les médias, les autres sites en lice étaient Gillette, Rock Springs et Glenrock. En novembre 2021, TerraPower a finalement opté pour Kemmerer. Natrium doit y remplacer les deux tranches de la centrale au charbon de Naughton, qui sera fermée en 2025. L'entreprise a motivé comme suit le choix de Kemmerer: «Parmi les facteurs pris en compte figuraient le soutien de la commune, les caractéristiques physiques du site, l'aptitude du site à être agréé par la NRC, l'accès aux infrastructures existantes et les besoins du réseau d'électricité.»

Dépôt de la demande de permis de construire

Le 29 mars 2024, TerraPower a déposé une demande de permis de construire auprès de la NRC pour son projet de démonstrateur. Il s'agit de la première demande de permis de construire présentée aux États-Unis pour un



Global Nuclear Fuel-Americas (GNF-A) et TerraPower prévoient de construire une usine de combustible HALEU à Wilmington (Caroline du Nord), sur un site de production existant appartenant à GE Hitachi Nuclear Energy. La construction devrait débuter en 2026 et l'usine être mise en service en 2030. Un accord a été signé à cet effet en octobre 2022. (Photo: GNF-A)

réacteur commercial avancé. «Cette demande est un pas de plus vers la mise sur le marché du réacteur Natrium», a déclaré Chris Levesque, président et CEO de TerraPower.

Quelles sont les prochaines étapes?

Maintenant que la demande de permis de construire a été déposée auprès de la NRC (2024), «l'équipe va tester les combustibles et les équipements, et collaborer avec l'industrie pour obtenir le combustible HALEU et les équipements nécessaires au démonstrateur», a annoncé le développeur du réacteur. Entretemps, TerraPower a lancé la construction de la partie non nucléaire de Natrium le 10 juin 2024.

«L'équipe commencera à construire la partie nucléaire de l'installation vraisemblablement à partir de 2025, dès que le permis de construire aura été délivré», a précisé TerraPower. La demande d'autorisation d'exploiter devrait être déposée auprès de la NRC en 2026. L'entreprise prévoit de former le personnel d'exploitation et de fabriquer le combustible pendant qu'elle sera examinée. Une fois l'autorisation d'exploiter obtenue, le chargement en combustible pourra débuter.

«À la fin du projet, notre démonstrateur sera un réacteur à l'échelle du réseau, homologué par la NRC, et qui entrera en service commercial», écrit TerraPower. L'équipe de Natrium aura également mis en place l'infrastructure «nécessaire à un futur parc de réacteurs aux États-Unis, voire dans le monde entier». TerraPower part du principe que la version commerciale de Natrium coûtera environ un milliard de dollars américains.

Des projets d'avenir avec des surgénérateurs plus puissants

«Le démonstrateur Natrium sert à tester les systèmes et l'exploitation de la première génération d'installations de 345 MW_e et à qualifier de nombreux composants pour les surgénérateurs et les réacteurs de transmutation de plus grande puissance qui suivront», écrit TerraPower. L'entreprise prévoit de commercialiser ces réacteurs, qui seront dotés de caractéristiques de conception et de puissance similaire, en combinaison avec son système de stockage d'énergie. Selon les besoins du marché, des versions plus puissantes de Natrium – allant jusqu'à une puissance électrique de l'ordre du gigawatt – pourraient également être lancées.

Le site Web de TerraPower mentionne une version de Natrium d'une puissance électrique de 600 MW, capable de générer son propre combustible et pouvant aussi être exploitée avec de l'uranium naturel non enrichi, voire de l'uranium appauvri. «À l'intérieur du cœur du réacteur, une partie de l'U 238 est convertie en un isotope fissile (Pu 239) qui est ensuite utilisé comme combustible avec une efficacité exceptionnelle», écrit TerraPower. Le réacteur Natrium ultime devrait avoir une puissance de 1000 MW et fonctionner également comme surgénérateur. (B.G./D.B. d'après TerraPower)



Vidéo YouTube sur le réacteur Natrium de TerraPower

Trilemme énergétique: la Suisse se classe au troisième rang mondial

Le Conseil mondial de l'énergie a publié à la mi-avril la quinzième édition de son rapport sur le trilemme énergétique mondial, intitulé «Evolving with Resilience and Justice». Ce rapport est accompagné d'un site Internet qui présente, pour 2023, la performance énergétique de chaque pays au moyen de trois critères ou dimensions clés: sécurité d'approvisionnement, accès/prix abordable, et compatibilité environnementale. La Suisse occupe la troisième marche du podium.

L'indice du trilemme énergétique montre où se situent les différents pays par rapport aux trois objectifs antagonistes suivants:

sécurité d'approvisionnement: cet indicateur évalue la capacité actuelle et future d'un pays à couvrir ses besoins énergétiques sans pénurie majeure. Il tient notamment compte de la gestion de l'approvisionnement en énergie primaire d'origine indigène et étrangère ainsi que de la fiabilité et de la robustesse de l'infrastructure;

accès/prix abordable (équité énergétique): cet indicateur mesure l'accès de la population à l'électricité, aux technologies propres pour cuisiner et à un niveau de consommation d'énergie permettant d'assurer la prospérité. Il tient également compte de la question de savoir si le prix de l'électricité, des carburants et des combustibles est abordable;

compatibilité environnementale: cet indicateur évalue la refonte de l'approvisionnement en énergie opérée en vue de préserver l'environnement et le climat. Il tient notamment compte de l'efficacité énergétique, de la décarbonation et de la qualité de l'air.

Indicateur relatif à l'équilibre de l'approvisionnement en énergie

Le degré de réalisation de ces trois objectifs de politique énergétique a été évalué pour 126 pays à partir des jeux de données y relatifs. Pour le calcul du nombre total de points, les trois critères ont chacun été pondérés à 30%. À cela s'est ajouté, avec une pondération de 10%, le «contexte national», qui comporte des indicateurs tels que la stabilité du cadre politico-légal, le climat d'investissement et la culture de l'innovation. Selon les auteurs, l'indice du trilemme offre ainsi un classement comparatif axé sur la capacité des pays évalués à résoudre le trilemme énergétique et à atteindre un mix énergétique équilibré.

Les pays de l'OCDE aux premières places du classement

Les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) à haut niveau de prospérité continuent d'accaparer les premières places du classement, ce qui démontre l'intérêt d'une politique énergétique menée activement de longue date. Les quatre pays les mieux classés – le Danemark et la Suède (tous deux au premier rang) ainsi que la Finlande et la Suisse – affichent des scores d'au moins 82 points. Les dix premières places du classement sont en quasi-totalité occupées par des pays d'Europe; seuls le Canada, la Nouvelle-Zélande et les États-Unis brisent cette hégémonie. Le principe des rangs partagés adopté il y a quelques années a été reconduit: lorsque la différence entre les scores respectifs de deux pays est inférieure à 0,1, ces deux pays sont classés au même rang. La similarité des scores a ainsi amené un élargissement de la définition des rangs, si bien que le top ten du classement compte plus de dix pays:

1. Danemark* (83,2 points sur 100)
1. Suède* (83,1)
2. Finlande* (82,7)
3. Suisse* (82,1)
4. Canada (81,0)
5. Autriche* (80,9)
6. France* (80,6)
7. Estonie (80,2)
7. Allemagne* (80,2)
8. Grande-Bretagne* (80,0)
8. Norvège (79,9)
9. Nouvelle-Zélande* (79,6)
10. États-Unis (78,9)

* Pays classés parmi les meilleurs 25% pour chacun des trois critères.

Classement top ten des pays* ayant obtenu les meilleurs scores pour chaque critère (sécurité d'approvisionnement, accès/prix abordable et compatibilité environnementale)

Sécurité d'approvisionnement			Accès/prix abordable			Compatibilité environnementale	
1.	Canada	76,6	1.	Qatar	99,9	1. Suisse	85,7
2.	Finlande	75,9	1.	Koweït	99,9	2. Suède	85,0
3.	Roumanie	73,7	1.	EAU	99,9	3. Norvège	84,3
4.	Suède	73,4	2.	Oman	99,7	4. Danemark	83,5
5.	Brésil	73,1	2.	Bahreïn	99,6	4. Albanie	83,4
5.	Rép. tchèque	73,0	3.	Islande	98,7	5. France	83,2
6.	Allemagne	72,9	4.	Trinité-et-Tobago	98,4	6. Costa Rica	82,8
7.	Hongrie	72,7	5.	Luxembourg	98,2	7. Portugal	81,2
7.	États-Unis	72,7	5. Suisse	98,1	8. Finlande	80,8	
7.	Bulgarie	72,6	6.	Arabie saoudite	97,7	9. Uruguay	80,1
8.	Slovaquie	72,3	7.	États-Unis	97,3	10. Espagne	79,9
8.	Danemark	72,2	8.	Australie	96,7		
9.	Lettonie	72,1	9.	Canada	96,2		
10.	Autriche	71,8	10.	Corée du Sud	95,9		
25.	Suisse	64,5					

* Le nombre de points a été arrondi à la première décimale. Plusieurs pays peuvent être classés au même rang si la différence entre leur score respectif est inférieure à 0,1.

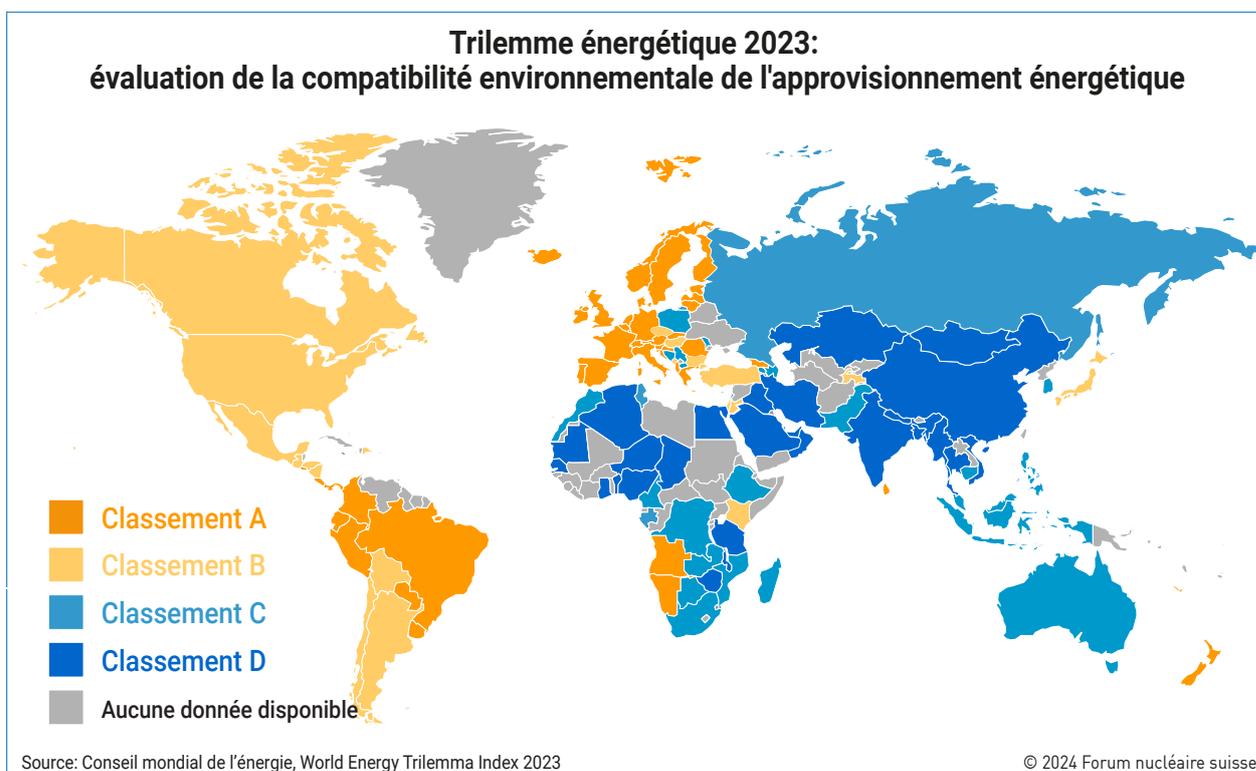
Comme les années précédentes, le bas du classement est entièrement occupé par des pays d'Afrique: Malawi (36,6 points), Tchad (35,6 points), Bénin (35,4 points), République démocratique du Congo (33,5 points) et Niger (27,7 points).

La Suisse surfe sur la vague du passé, mais pour combien de temps encore?

Interrogé sur les résultats obtenus par la Suisse, le Conseil mondial de l'énergie s'est exprimé comme suit: «Avec son troisième rang, la Suisse occupe en principe une place de choix dans le classement. Le trilemme est pour l'heure très équilibré en Suisse, en raison notamment des efforts soutenus menés sur le plan politique pour décarboner et diversifier les systèmes énergétiques en se détournant des combustibles fossiles (taxe sur le CO₂). Depuis l'éclatement de la guerre en Ukraine, la sécurité de l'approvisionnement énergétique prend de l'importance en Europe, y compris en Suisse. La situation actuelle met en évidence la complexité de l'équilibre entre cette sécurité, l'accessibilité financière/le carac-

tère abordable de l'approvisionnement et sa durabilité écologique.

Par rapport aux années précédentes, il n'y a pas eu d'impact majeur sur les indicateurs en Suisse. Le pays maintient un cap stable. Sa dépendance aux importations pour couvrir ses besoins en énergie primaire reste très élevée. Cette dépendance est particulièrement manifeste en ce qui concerne les besoins de chaleur des ménages (mazout, gaz naturel), les carburants et les processus industriels. La production indigène des centrales hydroélectriques, des centrales thermiques et des installations renouvelables a augmenté en 2023 par rapport à l'année précédente, ce qui entraîne des répercussions positives sur la diversité de la sécurité d'approvisionnement du pays. →



Dans le contexte de la guerre en Ukraine, se pose, toujours en matière de sécurité d'approvisionnement, le défi des centrales de réserve fossiles et des groupes électrogènes de secours. La Suisse ne recourt à ces installations que lorsque le marché de l'électricité est temporairement dans l'incapacité de répondre à la demande. Pour les centrales participant à la réserve, les valeurs limites fixées dans l'ordonnance sur la protection de l'air pour les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone ne s'appliquent pas pendant la durée d'exploitation ordonnée. En temps normal, les groupes électrogènes de secours ne peuvent être utilisés que pour des tests durant 50 heures par année au plus et en cas de panne d'électricité. Lorsque des groupes électrogènes de secours participent à la réserve en application de l'ordonnance sur une réserve d'hiver, cette limitation des heures de fonctionnement est temporairement levée.

Malgré la forte hausse des prix de l'énergie intervenue au début de la guerre en Ukraine, les coûts de l'énergie sont restés abordables pour la majorité de la population.

En comparaison avec l'étranger, le phénomène qu'il est convenu d'appeler la 'pauvreté énergétique' est relativement peu répandu en Suisse.

En Suisse, le trilemme repose toutefois sur des bases fragiles à long terme, si bien que son équilibre est menacé. La Suisse ne dispose pas encore de stratégie suffisamment aboutie permettant de remplacer ses centrales nucléaires, si elles étaient arrêtées définitivement, par un approvisionnement en électricité à 100% décarboné. Cette situation contribue à accroître la pression sur le trilemme et devra être réglée tôt ou tard, en tenant compte du fait qu'une stratégie basée sur l'importation d'électricité risque de réduire la durabilité de l'approvisionnement en électricité du pays.» (M.A./D.B. d'après WEC, «Energy Trilemma Index 2023» et «World Energy Trilemma 2024», 16 avril 2024, et un communiqué du Conseil mondial de l'énergie Suisse, 10 mai 2024)

<https://trilemma.worldenergy.org/>

Des microplastiques omniprésents, même en Antarctique

La présence des microplastiques s'étend jusque dans les zones maritimes les plus reculées de notre planète. On en trouve notamment de grandes quantités en Antarctique. Début 2024, une équipe de chercheurs de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a lancé, en collaboration avec l'Argentine, sa première expédition de recherche scientifique ayant pour but d'étudier la prévalence des microplastiques dans cette région du globe. Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une initiative de l'AIEA visant à recourir aux technologies nucléaires pour lutter contre la pollution par le plastique.

Les microplastiques sont des particules synthétiques d'un diamètre inférieur à 5 millimètres. L'équipe de chercheurs de l'AIEA a étudié pendant un mois la prévalence de microplastiques et leur distribution dans l'eau de mer, les lacs, les sédiments, le sable, les eaux de ruissellement et les animaux de l'écosystème antarctique, à proximité de la station de recherche de Carlini, en Argentine. L'équipe s'est en particulier intéressée aux microplastiques présents dans les organismes en collectant des moules et des limaces ainsi que des fèces de manchots. Les échantillons ont ensuite été envoyés pour analyse aux Marine Environment Laboratories de l'AIEA à Monaco et à l'Instituto Antartico Argentino (IAA) de Buenos Aires, qui utiliseront notamment la spectroscopie vibrationnelle afin de compter le nombre de microparticules de plastique et de caractériser le type des polymères en vue de déterminer, dans la mesure du possible, l'origine de la pollution.

Selon l'AIEA, la présence de microplastiques peut contribuer à accélérer la perte de masse des glaciers de l'Antarctique au travers des différents phénomènes qu'elle provoque: réduction de la réflectivité de la glace, modification de la rugosité de la surface, augmentation de l'activité microbienne, isolation thermique et affaiblissement mécanique de la structure de la glace. «Combinée aux changements climatiques, aux conditions atmosphériques et aux influences océaniques, la présence de microplastiques aggravera l'impact dévastateur de la fonte des glaces polaires en Antarctique», écrit l'AIEA dans un communiqué annonçant le lancement de l'expédition. «En outre, ajoute-t-elle, les microplastiques qui entrent dans la chaîne alimentaire des organismes antarctiques ont une incidence néfaste sur la santé de ces organismes et sur leur capacité de résistance aux changements climatiques.»



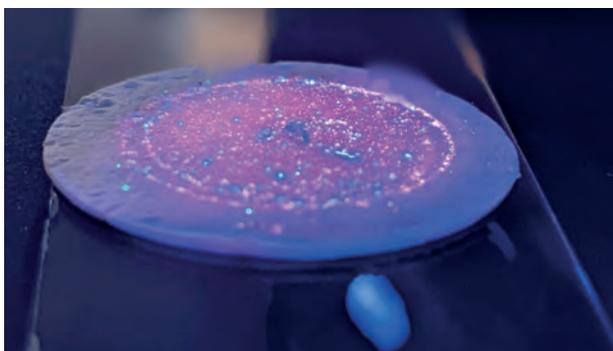
Des experts de l'AIEA prélèvent en Antarctique des échantillons qui seront ensuite envoyés à Monaco et à Buenos Aires pour déterminer s'ils contiennent des microplastiques. (Photo: AIEA sur X)

NUTEC Plastics, le programme de surveillance de l'AIEA

La mission de l'AIEA en Antarctique est menée dans le cadre du programme NUTEC Plastics (Nuclear Technology for Controlling Plastic Pollution), une initiative lancée en 2020 par l'agence pour lutter contre la pollution par le plastique grâce aux technologies nucléaires. Il s'agit de mettre en place un réseau de laboratoires de surveillance qui sera pourvu de l'équipement nécessaire pour prélever des échantillons dans l'environnement et les analyser à l'aide de techniques nucléaires et isotopiques afin d'obtenir des informations sur la distribution des microplastiques dans l'océan. La science et la technologie nucléaires peuvent ainsi apporter une contribution précieuse à l'identification, au suivi et à la surveillance des matières synthétiques, notamment des microplastiques, en circulation dans les mers. L'objectif

est de doter plus de 50 laboratoires de la technologie et du savoir-faire nécessaires à l'échantillonnage et à l'analyse des microplastiques présents dans les océans afin de constituer un réseau de surveillance mondial et de permettre l'établissement de rapports sur le point 14 «Vie aquatique» de l'Agenda 2030 pour le développement durable.

Pas moins de 63 pays participent actuellement à la surveillance des microplastiques marins et 30 d'entre eux développent des technologies de recyclage innovantes. Selon l'AIEA, la technologie nucléaire peut aussi être utilisée pour le recyclage: en traitant les déchets plastiques par irradiation, on peut les rendre réutilisables, ce qui devrait permettre d'élargir le potentiel de recyclage actuel et de réutiliser davantage de matières synthétiques avec un résultat de meilleure qualité.



Analyse de microplastiques marins provenant de sédiments au moyen de la spectroscopie vibrationnelle, une technologie dont le développement sera poursuivi dans le cadre d'un projet de recherche coordonné par l'AIEA s'étendant sur la période 2023 à 2027. (Photo: F. Oberhänsli / AIEA)

Utilisation de technologies nucléaires et isotopiques pour la surveillance et la caractérisation des microplastiques

Comme évoqué plus haut, les chercheurs de l'AIEA mettent au point des méthodes faisant appel aux technologies nucléaires et isotopiques pour quantifier avec précision l'impact des particules de plastique et des polluants organiques et inorganiques qui leur sont associés sur toute une série d'organismes aquatiques, dont les poissons et les huîtres, dans des conditions de laboratoire contrôlées. En utilisant des radiotraceurs comme le carbone 14, les chercheurs de l'AIEA peuvent étudier

comment des polluants tels que les biphényles polychlorés (PCB) se fixent sur les microplastiques présents dans l'environnement et s'ils peuvent s'en détacher une fois ingérés par les animaux marins.

Les radiotraceurs seront également utilisés pour étudier le déplacement et la persistance des microplastiques chez les animaux, afin notamment de comprendre comment ils sont absorbés – par le tube digestif ou par les branchies – selon l'organisme considéré. Les chercheurs veulent entre autres déterminer si les microplastiques peuvent être excrétés ou s'ils obstruent les organes. Si des matières synthétiques s'accumulent dans l'intestin, par exemple, elles sont susceptibles d'induire un faux sentiment de satiété, ce qui pourrait influencer négativement l'absorption de nutriments.

Des informations précises et à jour sur les déplacements, les quantités et les effets des microplastiques peuvent contribuer à améliorer les programmes de surveillance de la pollution marine, les stratégies de gestion environnementale et les réglementations relatives à la sûreté des produits de la mer.

Recyclage des matières synthétiques par irradiation

Les rayonnements ionisants sont déjà utilisés dans de nombreux procédés de fabrication de matières synthétiques. L'AIEA recourt également à cette technologie dans le cadre de son initiative NUTEC Plastics afin d'améliorer le recyclage des déchets plastiques. En effet, l'utilisation de rayons gamma et de faisceaux d'électrons permet de modifier certains types de plastiques de manière à faciliter leur recyclage et leur réutilisation. L'AIEA part du principe que cette nouvelle méthode est bon marché, efficace et respectueuse de l'environnement et qu'elle peut facilement être appliquée à relativement grande échelle, ce qui la met à la portée de nombreux pays. Ces technologies peuvent compléter les méthodes de recyclage actuelles, lors desquelles les déchets plastiques sont séparés mécaniquement par type de polymères, pour les opérations suivantes:

- réduction des polymères plastiques en particules plus petites, de sorte qu'ils puissent être utilisés comme matière première pour la fabrication de nouveaux plastiques,

- traitement du plastique pour qu'il puisse être mélangé à d'autres matériaux afin de rendre les produits plus durables,
- transformation du plastique en combustible par radiolyse.

Contribution de l'AIEA à la résolution de l'ONU

Le 2 mars 2022, les États membres de l'ONU ont adopté une résolution visant à mettre fin à la pollution par le

plastique, jetant ainsi les bases d'un accord international juridiquement contraignant qui devrait être formellement adopté en 2025. L'expédition de l'AIEA en Antarctique est susceptible d'apporter une contribution décisive à la collecte des données nécessaires à la négociation de cet accord. (M.A./D.B. d'après diverses informations émanant de l'AIEA et de NUTEC Plastics, et d'après un communiqué de presse publié le 2 mars 2024 par le Programme des Nations unies pour l'environnement)



Le directeur général de l'AIEA Rafael Grossi (à gauche) et le président argentin Javier Milei (deuxième à partir de la gauche) sur la base antarctique de Marambio. (Photo: AIEA sur X)

Beznau, immortelle?



Rainer Meier

Conseiller senior dans les domaines de la réputation et de la communication de crise

Rainer Meier, ancien chef de la communication d’Axpo, s’exprime sur l’éventuelle poursuite de l’exploitation de la centrale nucléaire de Beznau (KKB) au-delà de 60 ans, projet actuellement étudié par le groupe argovien.

En 2016, quiconque se trouvait assis sur la droite du cockpit, côté hublot, d’un avion en approche de l’aéroport de Zurich-Kloten ne pouvait pas manquer l’immense panneau indicateur dessiné sur l’herbe à côté de la piste 16 et pointant vers «la plus vieille centrale nucléaire au monde», le «réacteur bon pour la casse» de Beznau. Il s’agissait d’une action humoristique menée par Greenpeace à l’occasion de l’initiative «Sortir du nucléaire», sur laquelle le peuple allait être appelé à se prononcer.

C’était marrant, oui, mais aussi à côté de la plaque. Car Beznau n’était ni bonne pour la casse, ni la plus vieille centrale nucléaire au monde... Néanmoins, le panneau indicateur a failli atteindre sa cible. L’initiative, qui visait à fermer Beznau et Mühleberg en 2017, Gösgen en 2024 et Leibstadt en 2029, n’a été rejetée que de justesse.

Aujourd’hui, on ne peut s’empêcher de sourire en repensant à cette votation. Arrêter les centrales nucléaires? Alors que nous manquons déjà d’électricité? Vous n’y pensez pas! Mais à l’époque, l’idée était prise très au sérieux. L’initiative était soutenue non seulement par les Verts et par la gauche, mais aussi par les Vert-libéraux, le PEV et le PCS. S’y ajoutaient des acteurs comme la Fondation Suisse de l’Énergie, l’Aeesuisse ou Swissolar, qui espéraient que la pénurie d’électricité serait bénéfique pour leurs propres affaires. Aujourd’hui, bon nombre des personnes qui appelaient à voter pour cette initiative se détournent honteusement lorsqu’on

les interpelle à ce sujet. Car il est désormais évident qu’un oui aurait plongé la Suisse dans un chaos énergétique total.

Aujourd’hui, l’idée selon laquelle nos centrales nucléaires doivent rester en service aussi longtemps qu’elles sont sûres fait l’objet d’un large consensus. Même Roger Nordmann, le «pape du solaire», qui tout récemment encore voulait limiter à 45 ans la durée d’exploitation de Gösgen et Leibstadt, table maintenant sur 60 ans au moins dans ses scénarios.

Et lorsqu’il y a quelques semaines, Axpo a annoncé vouloir examiner la question de savoir si l’exploitation de Beznau était possible au-delà des 60 ans prévus, le groupe parlementaire en faveur de la mise à la casse des réacteurs n’a pas pipé mot. Pendant des années, des pressions politiques – venant entre autres, mais pas seulement, de la gauche verte – ont été exercées sur le groupe Axpo pour qu’il ferme Beznau le plus vite possible. Aujourd’hui, le vent a tourné. Les architectes de la transition énergétique espèrent désormais que les centrales nucléaires, qui ont fait leurs preuves, restent le plus longtemps possible en service afin d’avoir le temps de développer la production renouvelable.

Axpo entend se donner jusqu’en mars 2025 pour éclaircir les faits. La sûreté de l’installation est le tout premier point à analyser. À ce jour, Axpo a investi près de 2,5 mil-

liards de francs dans la rénovation de la centrale et l'amélioration de sa sûreté par de nouveaux équipements. Grâce à tous ces rééquipements, Beznau est aujourd'hui à la pointe de la technologie. À titre de comparaison, si l'on dotait un nageur de 55 ans de tous les moyens techniques et biologiques que l'on peut aujourd'hui acquérir pour 2,5 milliards, il décrocherait l'or aux Jeux olympiques du mois d'août prochain.

Le qualificatif «vieux» n'est pas synonyme de «mauvais». À preuve le fait que l'indice relatif au risque d'endommagement du cœur de la centrale nucléaire de Beznau n'a jamais été aussi bas. Il s'agit d'un indice servant à déterminer la probabilité qu'un dommage grave touchant le cœur, tel que sa fonte, se produise à un moment donné. C'est en 1969, au moment de la mise en service de Beznau que cet indice était le plus élevé. Tout simplement parce qu'à l'époque, bon nombre des équipements de sûreté dont est aujourd'hui dotée l'installation n'existaient pas encore.

Beznau n'aura 60 ans qu'en 2038

Il est toutefois un processus de vieillissement qui ne peut pas être corrigé par un rééquipement: la fragilisation de l'acier de la cuve du réacteur sous l'effet du flux neutronique. Grâce à des barres métalliques extractibles placées à l'intérieur de la cuve, on sait exactement comment le métal réagit à ce bombardement de neutrons. Ce n'est pas l'âge de l'installation qui est déterminant pour la fragilisation, mais le nombre d'années pendant lesquelles elle a fonctionné à pleine charge.

Or, Beznau ne fonctionne pas en permanence à pleine charge. On se souvient que la tranche 1 a été arrêtée de 2015 à 2018 parce que des appareils de mesure d'un genre nouveau avaient détecté des inclusions, d'abord inexplicables, dans le métal de la cuve. De plus, les centrales nucléaires sont arrêtées pour révision pendant environ 10% de l'année. Pendant ce temps-là, le métal du réacteur ne se fragilise pas. En termes de vieillissement sous irradiation, Beznau 1 n'aura donc pas 60 ans en 2029, mais seulement 51 ans (soit le même âge que Beznau 2), et les deux tranches n'atteindront leurs 60 ans qu'en 2038.

Selon les spécialistes du vieillissement sous irradiation, il serait possible d'exploiter le réacteur 1 de Beznau du-

rant 70 ans sans que la température de référence de transition ductile-fragile de la résilience, une valeur limite fixée à 93 degrés par la législation suisse, ne soit atteinte (la température actuelle est de 89 degrés; aux États-Unis, certains réacteurs fonctionnent à une température de 132 degrés). Le vieillissement sous irradiation ne poserait pas de problème dans le cas de Beznau 2, car ce réacteur, du fait de la composition chimique de l'alliage de sa cuve (moins de cuivre) et de son mode d'exploitation, affiche des valeurs nettement meilleures que son frère aîné Beznau 1, connecté au réseau trois ans plus tôt.

La durée d'exploitation de Beznau pourrait même être prolongée au-delà de 70 ans si Axpo ne faisait plus fonctionner la centrale à pleine charge. En gros, Beznau serait arrêtée en été, ce qui réjouirait les pêcheurs de l'Aar, et elle fonctionnerait en hiver, ce qui réjouirait le reste de la Suisse. Un tel modèle soulèverait toutefois d'énormes défis sur les plans opérationnel, financier et réglementaire.

Mais l'exploitation à long terme est-elle rentable pour Axpo? Le groupe serait-il prêt à investir à nouveau? En 2008, il avait déjà investi quelque 800 millions de francs pour poursuivre l'exploitation de la centrale jusqu'en 2030. Pour porter la durée d'exploitation possible à 70 ans, il faudrait encore mettre un milliard de francs sur la table (je reprends ici les chiffres de l'exploitant). Cela sonne-t-il le glas du projet?

Je sors ma calculatrice. Un milliard de francs sur 10 ans, cela donne un coût d'environ 20 CHF/MWh. Si l'on ajoute à ce chiffre 40 CHF/MWh pour l'exploitation et le combustible, on arrive exactement au prix de marché du mégawattheure à la fin avril: 60 CHF/MWh. Faisable?

Ce calcul doit faire se dresser les cheveux sur la tête au chef des finances d'Axpo. Car qu'est-ce qui lui garantit que le prix moyen du marché sera supérieur à 60 CHF/MWh à l'horizon 2040? Seule la Confédération pourrait couvrir ce risque au moyen d'un «Contract for Difference» ou «contrat d'écart compensatoire». Une telle garantie serait le prix à payer pour la sécurité d'approvisionnement. Relevons au passage qu'en vertu de la nouvelle loi sur l'approvisionnement en électricité, la

Confédération fournit déjà des prestations similaires, prenant en charge jusqu'à 60% des investissements dans le domaine du renouvelable. Si Berne appliquait le même modèle à l'énergie nucléaire, le chef des finances d'Axpo piquerait illico un sprint jusqu'à Beznau, la pelle sur l'épaule.

Plan A ou plan B? Le temps presse

Il y a donc encore beaucoup de points à clarifier, et pas seulement pour Axpo. Pour l'heure, le plan A du groupe argovien est très clair: il prévoit la désaffectation de Beznau 1 après 2030, puis son démantèlement. Les travaux préparatoires sont en cours depuis longtemps et il doit être clair d'ici le printemps 2025 au plus tard si ce plan sera mis en œuvre ou pas. Car la planification concrète commencerait tout de suite après, afin de pouvoir présenter d'ici 2027 l'ensemble des documents nécessaires à la désaffectation et au démantèlement. Une double planification – à savoir la préparation simultanée du démantèlement et de l'exploitation à long terme – n'est guère envisageable en raison des ressources qu'elle exigerait.

Alors, quelle doit être la durée d'exploitation de Beznau? 40, 50, 60, 70 ans, plus...? On se frotte les yeux. Il était en fait prévu de remplacer les centrales nucléaires suisses les plus anciennes par de nouvelles au milieu des an-

nées 2020. Aujourd'hui encore, il me semble que c'était un projet raisonnable. Le 13 février 2011, les citoyens bernois s'étaient même prononcés en sa faveur lors d'une votation consultative.

Mais les choses ne se passent pas toujours comme prévu. Il y a quelques années, j'avais dit en plaisantant à un collègue que nous irions voir ensemble le démantèlement de Beznau lors de notre excursion de retraités. Il semble que nous allons devoir patienter encore un peu. Si tant est que nous puissions réellement assister à ce démantèlement. Car contrairement à Beznau, le collègue en question et moi-même ne sommes pas immortels. (D.B.)

Les propos des auteurs invités ne reflètent pas nécessairement le point de vue du Forum nucléaire suisse.

Rainer Meier (65 ans) a été responsable de la communication chez Axpo de 2006 à 2021. Il travaille aujourd'hui pour différentes entreprises comme conseiller senior en matière de réputation et de communication de crise.

En Suisse

Un **sondage** récent indique que les électeurs et électrices suisses soutiennent massivement la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs existants: 71% des personnes interrogées sont favorables à une exploitation aussi longue que possible, même si cela nécessite des moyens publics. La question des nouvelles constructions demeure quant à elle controversée.

En 2023, la **consommation d'électricité** en Suisse s'est établie à 56,1 milliards de kilowattheures (kWh), affichant ainsi une baisse de 1,7% par rapport à l'année précédente. La production nationale – après déduction de la consommation des pompes d'accumulation – a atteint 66,7 milliards de kWh. Le solde importateur physique s'est monté à 6,4 milliards de kWh.



La consommation d'électricité en Suisse a baissé de 1,7% en 2023. (Photo: Axpo)

Les centrales hydroélectriques ont assuré 56,6% de la production totale d'électricité en 2023 (centrales au fil de l'eau: 24,3%, centrales à accumulation: 32,3%), les **centrales nucléaires 32,4%**, les centrales thermiques conventionnelles et les installations renouvelables 11,0%.

En 2023 aussi, toutes les installations nucléaires suisses ont respecté les limites définies pour les rejets de substances radioactives dans l'environnement ainsi que les valeurs limites pour le personnel et la population. C'est la conclusion à laquelle est parvenue l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) dans le **Rapport sur la radioprotection 2023**.

Dans le but de continuer à renforcer la sécurité de l'approvisionnement, Axpo a décidé d'examiner la faisabilité technique d'une exploitation de **Beznau** au-delà de 60 ans. Il s'agit, notamment, de l'intégrité des composants centraux (par exemple la cuve de pression) et de la disponibilité du personnel, des fournisseurs et du combustible.



Dans le cadre d'un préprojet, Axpo étudie la possibilité de faire fonctionner la centrale nucléaire de Beznau au-delà de 60 ans. (Photo: Axpo)

Selon l'IFSN, les centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau peuvent résister à un **séisme** rare et fort. Le justificatif de la centrale nucléaire de Mühleberg a déjà été accepté mi-2023. La vérification de celui de la centrale nucléaire de Gösgen n'a pas encore été finalisée.

La **Nagra** crée deux nouvelles filiales: Nagra gTL AG sera chargée de la construction et de l'exploitation du dépôt en couches géologiques profondes, tandis que Nagra BEVA AG sera chargée de la construction et de l'exploitation des installations de conditionnement.



Matthias Braun, CEO de la Nagra: «Cela [La création de deux nouvelles sociétés] ne change rien pour nos partenaires et la collaboration avec la Nagra. Le dépôt en couches géologiques profondes pour les déchets radioactifs reste un projet de la Nagra.» (Photo: Nagra)

À l'étranger

Une étude de l'entreprise de développement nucléaire néerlandaise ULC-Energy indique que les coûts de la **fabrication de l'hydrogène** au moyen des petits réacteurs modulaires sont sensiblement moins élevés qu'avec d'autres méthodes.



Illustration d'une usine de fabrication d'hydrogène composée d'un électrolyseur et de deux SMR. (Photo: ULC-Energy)

L'exploitante nucléaire finlandaise **Teollisuuden Voima Oyj** (TVO) a émis un emprunt vert de 600 millions d'euros d'une durée de sept ans, assorti d'un coupon annuel de 4,25%.

La France encourage à hauteur de 300 millions d'euros le projet de recherche et de développement de **Nuward** pour les petits réacteurs modulaires. La Commission européenne estime que cette démarche est conforme à la législation européenne en matière d'aides d'État.



«Ce projet [de Nuward] contribuera à la décarbonation des systèmes énergétiques [...], tout en limitant les éventuelles distorsions de la concurrence», a déclaré Margrethe Vestager, vice-présidente exécutive chargée de la politique de concurrence de l'UE. (Photo: Union européenne, 2019)

L'énergéticien public français **Électricité de France** (EDF) a annoncé avoir signé des «prêts bancaires verts» pour un montant total de 5,8 milliards d'euros, d'une maturité comprise entre 3 et 5 ans. Les fonds prêtés seront dédiés au refinancement des investissements dans les réacteurs nucléaires existants en France dans le cadre de l'extension de leur durée de vie.

Une étude réalisée par PricewaterhouseCoopers montre que la construction et l'exploitation de six réacteurs **AP1000 en Pologne** représenteraient «des avantages économiques considérables». Par ailleurs, les fournisseurs polonais pourraient participer à la chaîne d'approvisionnement et des milliers d'emplois seraient créés.



Patrick Fragman, CEO de Westinghouse, et l'ambassadeur polonais aux États-Unis, Mark Brzezinski, se sont entretenus sur l'étude réalisée par PricewaterhouseCoopers lors d'une conférence de presse en Pologne. (Photo: Ambassade américaine à Varsovie)

Constellation Energy Corporation a remis à l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) une demande en vue d'une nouvelle prolongation du permis d'exploitation de la centrale de **Dresden**, dans l'État de l'Illinois. L'entreprise souhaiterait exploiter ses deux réacteurs à eau bouillante Dresden 2 et 3 durant 80 ans.

L'autorité britannique de sûreté nucléaire, l'ONR, a délivré le permis de site pour le projet nucléaire **Sizewell C**. D'autres autorisations seront encore nécessaires avant que les travaux de construction des deux EPR puissent être lancés.

Sizewell C Ltd. a signé un contrat avec **EDF Energy**, relatif à l'acquisition d'un terrain en vue de la construction de la centrale nucléaire en projet sur le littoral de Suffolk.



Les deux dirigeants Julia Pyke et Nigel Cann font savoir que l'acquisition du terrain qui s'étend sur une surface de 362 hectares constitue une condition pour pouvoir ensuite demander l'autorisation de site. (Photo: Sizewell C via X)

TerraPower a remis une demande de permis de construire à l'autorité de sûreté nucléaire américaine (la NRC) pour son projet de réacteur de démonstration refroidi au sodium le 29 mars 2024.



TerraPower est la première entreprise à avoir remis à l'autorité de sûreté nucléaire américaine une demande de permis de construire pour un réacteur commercial avancé. (Photo: TerraPower)

D'après China General Nuclear (CGN), le fonctionnement test de 168 heures en pleine charge de la tranche nucléaire **Fangchenggang 4** (province autonome du Guangxi au sud de la Chine) est désormais achevé, et l'installation est en service commercial.

Le premier béton de la tranche nucléaire **Liangjiang 2** a été coulé le 26 avril 2024. Les tranches 1 et 2 de Lianjiang du type indigène CAP-1000 se situent dans la province du Guangdong, dans le sud de la Chine.



Liangjiang 2 est officiellement en construction. (Photo: SPIC)

L'énergéticien public tchèque ČEZ a reçu deux offres complémentaires pour la construction de deux nouvelles tranches nucléaires sur chacun des sites de **Dukovany et Temelín**. Celles-ci proviennent d'EDF et de Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP).

À l'issue de sept mois de tests, au cours desquels la puissance de l'installation a été progressivement augmentée, la tranche nucléaire du type indigène APR-1400 **Shin-Hanul 2** a reçu l'autorisation de mise en service commercial le 5 avril 2024.



La tranche nucléaire sud-coréenne Shin-Hanul 2 (à droite) a été mise en service commercial. (Photo: KHNP)



La tranche nucléaire américaine du type AP1000 **Vogtle 4** a été mise en service commercial le 29 avril 2024.



Le site nucléaire de Vogtle, dans l'État américain de Géorgie, avec ses quatre réacteurs. À gauche: les tranches 3 et 4 du type AP-1000. (Photo: Georgia Power)

Une équipe d'experts de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a confirmé que la concentration en tritium contenue dans le cinquième chargement d'eau traitée issue de la centrale nucléaire de **Fukushima-Daiichi** se situait sensiblement en dessous des exigences réglementaires en vigueur dans le pays.



Le 13 mars 2024, une délégation de l'AIEA s'est rendue à la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi et a visité l'installation de préparation de l'eau ALPS. (Photo: Tepco)

Sur la base des prescriptions contraignantes contenues dans la loi atomique allemande, le ministère bavarois a délivré l'autorisation de désaffecter et de démanteler le réacteur **Isar 2**. Le ministre bavarois de l'Environnement, **Thorsten Glauber**, a déclaré à ce sujet: «L'arrêt des derniers réacteurs allemands en avril 2023 était une mauvaise décision.»

La «décontamination des systèmes» de la tranche nucléaire à l'arrêt **Kori 1** a été lancée le 7 mai 2024.



Pour la première fois, KHNP utilise un robot autonome dans le cadre de travaux de démontage et de décontamination de la tranche nucléaire Kori 1. (Photo: KHNP)

Le gouvernement britannique a alloué la somme de 196 millions de livres (soit environ 222 mio. de francs) à **Urenco**. L'entreprise d'enrichissement d'uranium projetée de construire une installation d'enrichissement qui pourrait produire de l'uranium faiblement enrichi (Haleu) destiné aux réacteurs avancés à partir de 2031.

Le développeur américain de réacteur X-energy et sa filiale à 100% Triso-X LLC bénéficieront d'un crédit d'impôt pour construire la première installation de **fabrication de combustible nucléaire avancé (TX-1)** à Oak Ridge, Tennessee. L'aide correspondante s'élève à 148,5 millions de dollars.



Une illustration de l'installation de fabrication de combustible Triso-X de X-energy à Oak Ridge qui sera inaugurée en 2025. (Photo: X-energy)

En sus du nouveau programme d'encouragement «Fusion 2040 – Vers une centrale de fusion», le **ministère allemand** de la Formation et de la Recherche soutient la **recherche collaborative appliquée** sous la forme d'un partenariat public-privé.

Pour la première fois, des scientifiques ont utilisés des **aimants permanents** dans un stellarator. Cette technique pourrait rendre possible la construction d'appareils plus abordables et permettre à la recherche de tester de nouveaux concepts de centrales de fusion.

Le développeur suédois du SMR refroidi au plomb **Blykalla** – anciennement baptisé LeadCold – a annoncé l'achèvement de sa dernière ronde de financement, qui lui a permis de collecter au total 80 millions de couronnes suédoises (CHF 6,7 mio.).



D'après Jacob Stedman, CEO de Blykalla, le SMR refroidi au plomb baptisé Sealer est adapté aux applications industrielles au regard de ses propriétés, de ses coûts et de sa puissance. (Photo: Blykalla)

Proxima Fusion, la première spin-out de l'Institut Max-Planck de physique des plasmas (IPP), a obtenu un financement d'amorçage de plus de 20 millions d'euros pour accélérer la construction de la première génération de centrales de fusion. Celle-ci sera basée sur le principe de stellarators quasi-isodynamiques optimisés et de supraconducteurs à haute température.

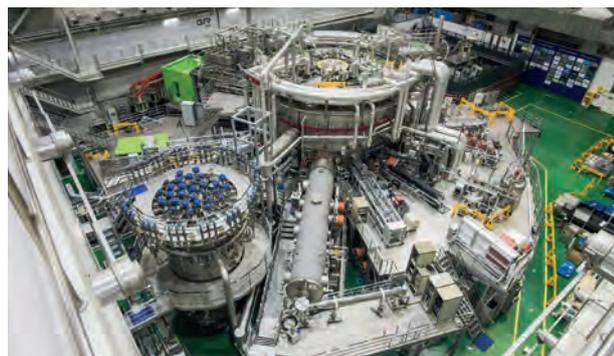
La mine d'uranium de **Langer Heinrich**, en Namibie, a repris la production commerciale arrêtée en 2018. D'après Paladin Energy, la production de concentré d'uranium et sa mise en conteneurs ont été lancées le 30 mars 2024.

Framatome et KHNP ont signé une déclaration d'intention destinée à étudier la faisabilité de la production du radioisotope médical lutétium 177 dans la centrale nucléaire sud-coréenne de **Wolsong**. Le lutétium 177 est utilisé dans le cadre du traitement du cancer.



Catherine Cornand (Framatome) et Chang Hee-Seung (KHNP) aux côtés de collaboratrices et collaborateurs des deux entreprises, après la signature de la déclaration d'intention. (Photo: Framatome)

Le réacteur de fusion sud-coréen **Kstar** a établi un nouveau record mondial: le plasma a été maintenu à une température de 100 millions de degrés Celsius durant 48 secondes. (M.A./C.B./A.T.)



Le Korean Superconducting Tokamak Advanced Reactor (Kstar) enregistre un nouveau record. (Photo: National Fusion Research Institute)

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.

Promouvoir ensemble les technologies énergétiques



Karin Heimann

Secrétaire générale
de la Fondation FHNW

À compter de cette année, le Forum nucléaire suisse s'engage auprès de la Fondation FHNW afin de promouvoir des projets de recherche en lien avec les technologies de production d'énergie à la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse.

La deuxième Rencontre du Forum de l'année 2024 s'est tenue le 10 avril à la Haute école technique de Windisch, l'une des neuf hautes écoles qui composent la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse (FHNW). Cette soirée a permis aux personnes présentes de découvrir en exclusivité les projets de recherche énergétique menés actuellement par l'établissement et d'en apprendre davantage sur l'enseignement qu'il dispense.

Coup d'envoi de la collaboration

En tant que membre du Comité du Forum nucléaire suisse et vice-président de la Fondation FHNW, Andreas Koch, du groupe ABB Suisse, avait proposé de renforcer la collaboration entre le Forum et la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse afin de lutter contre le manque de personnel qualifié. Cette proposition a été concrétisée lors de cette deuxième Rencontre du Fo-



Andreas Koch, membre du Comité du Forum nucléaire suisse et vice-président de la Fondation FHNW, présente cette dernière lors de la deuxième Rencontre du Forum, qui s'est tenue à la Haute école technique de Windisch. (Photo: Forum nucléaire suisse)

rum. Andreas Koch y a donné un exposé lors duquel il a présenté la Fondation FHNW, qui soutient l'action de la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse.

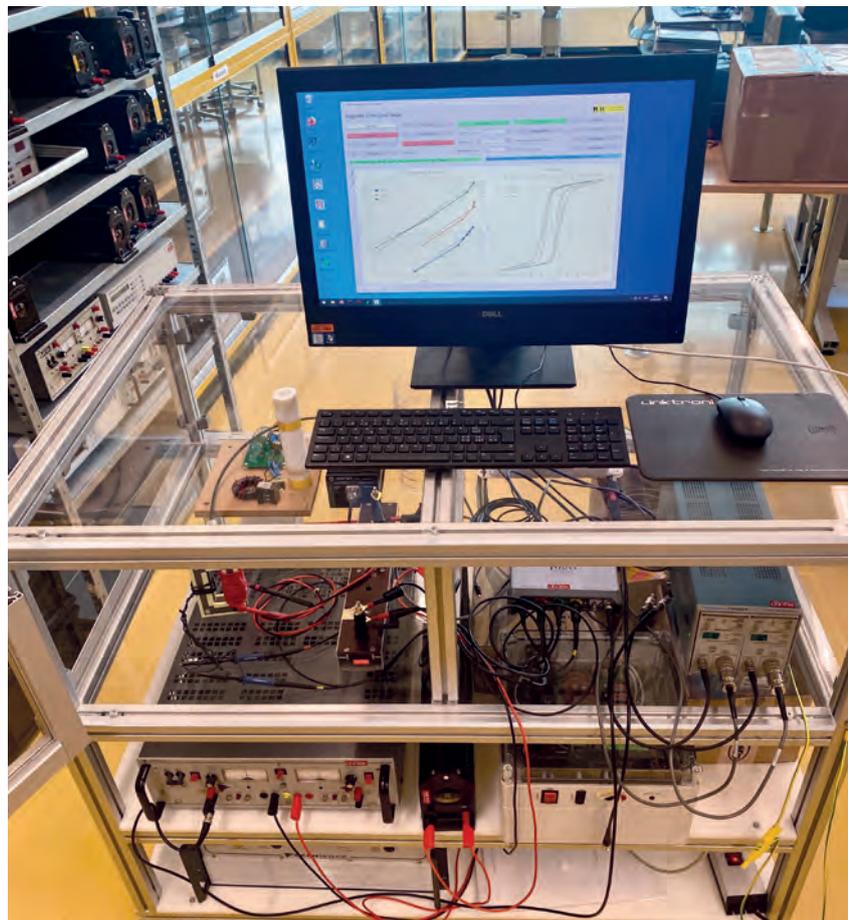
Susciter l'innovation

Composée d'entreprises, d'organisations et de personnalités liées à la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse, la Fondation FHNW soutient chaque année des projets d'enseignement ou de recherche et développement de premier plan répondant à des questionnements issus de la pratique. Ainsi, les quatre projets qui seront financés cette année sont consacrés respectivement aux domaines de la radiothérapie, de l'orthopédie, de l'intelligence artificielle et de la visualisation d'infrastructures. Ce soutien porte sur la phase initiale des projets et vise à leur permettre d'atteindre un niveau de maturité suffisant pour qu'ils puissent donner lieu à des projets subséquents menés en coopération avec des établissements de recherche ou avec l'industrie. Sans ce soutien, bon nombre d'idées innovantes se perdraient, alors même qu'elles sont susceptibles d'apporter beaucoup à l'économie et à la société.

Des technologies nouvelles destinées à la pratique

La Fondation FHNW crée un effet de levier avec des contributions minimales, qui permettent néanmoins à des équipes de projet de présenter avec succès des demandes de projet matures à d'autres institutions de recherche. Voici quelques exemples de ce tour de force: le projet «Compact enhanced photoacoustic Aerosol Monitor» de la Haute école technique de Windisch a permis de poursuivre le développement d'une technologie de mesure photoacoustique ébauchée par l'un de ses instituts – l'Institut für Sensorik und Elektronik – jusqu'à obtenir un financement du Fonds national suisse (FNS), qui soutient les projets exceptionnels des hautes écoles. Dans le cadre du projet «Initiative Digital Twin Campus Muttenz» de la Haute école d'architecture, de construction et de géomatique de la FHNW, un modèle BIM (Building Information Modeling) intégrant des données issues de capteurs a été développé pour le campus de Muttenz comme base pour l'enseignement et la recherche. Ce projet a obtenu le soutien d'Innosuisse, l'agence suisse pour la promotion de l'innovation, qui accélère le transfert de connaissances de la recherche à

l'économie. Enfin, le «Système de cryptage à sécurité quantique pour l'utilisation pratique dans les réseaux d'entreprise et Internet», lui aussi développé par la Haute école technique de Windisch, s'est qualifié pour un projet de recherche à l'«European Space Agency» (ESA).



Le banc d'essai pour la mesure des propriétés des matériaux magnétiques doux en électrotechnique: Sur l'écran sont représentées à droite les courbes d'hystérésis magnétiques d'un noyau de fer, à gauche les puissances dissipées calculées à partir de ces courbes. Dans la partie inférieure du banc d'essai se trouvent l'objet à tester, les amplificateurs moyenne et haute fréquence, ainsi que l'électronique de mesure. (Photo: Institut für Elektrische Energietechnik de la FHNW)

La pertinence pratique de la FHNW se manifeste également au travers des projets qui sont mis en œuvre avec des partenaires industriels après avoir été soutenus par la Fondation FHNW. Par exemple, le banc d'essai haute fréquence pour les matériaux magnétiques doux, déve-

loppé par la Haute école technique de Windisch dans le cadre d'un projet de soutien de la Fondation FHNW, est aujourd'hui utilisé dans l'industrie.

Promotion de la relève

Si les projets de recherche et les projets industriels sont importants pour l'économie, l'enseignement l'est tout autant, car il permet d'assurer la formation initiale et le perfectionnement professionnel des spécialistes. Les projets soutenus par la Fondation FHNW ont notamment donné naissance à de nouveaux cours ex cathedra comme «Data and Ethics» à la Haute école des sciences de la vie, ou à de nouveaux cours spécialisés comme «Blended Counseling» à la Haute école de travail social. Dans certains cas, comme à l'Institut de géomatique, plusieurs projets ont été intégrés dans la refonte d'un cursus. Le soutien de la Fondation FHNW permet en outre à de nombreux étudiants d'acquérir une précieuse expérience pratique en réalisant des projets (travaux semestriels, de bachelor, ou de master). En 2022, la Fondation FHNW a récolté 180'000 francs pour soutenir le projet «Integral – accès aux hautes écoles pour les personnes ayant fui leur pays»: il s'agit d'une offre passerelle ciblée comprenant des cours d'allemand et des places de stage afin de permettre aux personnes ayant fui leur pays et disposant des qualifications requises de suivre l'enseignement dispensé par la Haute école technique de Windisch. Cette initiative permet notamment de lutter contre l'importante pénurie de main-d'œuvre qualifiée dans les branches techniques. Aujourd'hui, cette offre passerelle bénéficie également du soutien de l'office cantonal en charge de l'accueil des migrants.

Un effet de levier convaincant

Ces différents exemples montrent comment la Fondation FHNW obtient un effet de levier durable avec une contribution modeste. Le soutien qu'elle octroie est rendu possible par des dons d'entreprises, d'organisations et de particuliers. Convaincu de l'efficacité de cet effet de levier, le Forum nucléaire suisse souhaite s'engager par un don annuel de 5000 francs destiné à des projets de recherche de la Haute école technique de Windisch ou à des projets de recherche d'autres établissements en rapport avec son domaine d'activité, en vue de soute-

nir l'acquisition par les futurs ingénieurs de compétences dans le domaine des technologies énergétiques ayant un lien avec le génie nucléaire au sens large. (D.B.)

La Fondation FHNW

La Fondation FHNW soutient des projets novateurs menés par la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse (FHNW) dans les domaines de la recherche, de l'enseignement et du développement. Depuis sa création en 2010, la Fondation a soutenu pas moins de 54 projets par des dons d'un montant total de 2,6 millions de francs. En collaboration avec la FHNW, elle apporte une contribution visible et durable à des développements et innovations réussis dans les domaines de la technique, de l'économie, de l'environnement, du social et de la culture.

Les dons peuvent être affectés à des projets de recherche de la FHNW en général, à des projets de recherche d'une des hautes écoles qu'elle regroupe ou à un thème particulier. Si vous souhaitez vous aussi vous investir en faveur de projets de valeur pour la société, n'hésitez pas à la contacter la Fondation FHNW à l'adresse mail@stiftungfhnw.ch.

De plus amples informations sont disponibles (en allemand) à l'adresse www.stiftungfhnw.ch

Karin Heimann est secrétaire générale de la Fondation FHNW depuis 2019. À son compte depuis 2014, cette économiste formée aussi bien en économie d'entreprise qu'en économie politique s'emploie à jeter les bases de projets réussis pour les entreprises et les organisations.

Une joie mesurée

Il est très rare qu'un politicien vert s'exprime de manière un tant soit peu positive sur l'énergie nucléaire. Or, c'est précisément ce qu'a fait le conseiller d'État Martin Neukom, chef de la Direction des travaux publics du canton de Zurich, dans une récente interview accordée au «Tages-Anzeiger»: «De mon point de vue, on peut biffer l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires inscrite dans la loi. Elle n'est pas nécessaire.» À ses yeux, cette interdiction est «un article de loi superflu. Aucun acteur du secteur privé n'irait investir de l'argent dans une centrale nucléaire. C'est beaucoup trop risqué financièrement. Alors, pourquoi inscrire une interdiction dans la loi?» Stricto sensu, l'opinion exprimée par M. Neukom au sujet des centrales nucléaires est assez négative, puisqu'il se sert des sempiternelles critiques formulées à leur égard pour les dénigrer. Et l'on peut se demander s'il n'y aurait pas un soupçon d'arrogance dans l'affirmation selon laquelle ces installations n'ont pas besoin d'être interdites tant il serait déraisonnable de vouloir en construire.

Le lendemain de la parution de l'interview précitée, le «Tages-Anzeiger» titrait: «Les pronucléaires jubilent après la déclaration de Neukom.» Nous n'avons guère trouvé trace de jubilation dans la suite de l'article. Certes, le conseiller national PRL Christian Wasserfallen déclare: «Il est bon de voir que cette interdiction technologique est rejetée même par les Verts.» Et il voit dans les propos de M. Neukom «un revirement par rapport à la position dogmatique adoptée jusqu'ici à l'encontre des centrales nucléaires». Mais le conseiller national UDC Christian Imark relativise: «Aujourd'hui, plus personne

n'investit dans une technologie si elle n'est pas subventionnée par l'État.»

Les autres personnes citées par l'article sont toutes des adversaires de l'atome. «Nous sommes pour l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires et nous nous engagerons pour cela – si besoin par un référendum», affirme par exemple Aline Trede, cheffe du groupe des Verts au Parlement, qui estime que Martin Neukom est contre les centrales nucléaires, comme le sont les Verts. La présidente du parti, Lisa Mazzone, ne voit pour sa part aucun caractère explosif dans les propos de M. Neukom, puisqu'il n'a pas demandé la levée de l'interdiction en question. Selon elle, le conseiller d'État zurichois voulait seulement réaffirmer que le nucléaire n'a aucun avenir. C'est de l'extérieur de son parti que vient la critique des déclarations de M. Neukom: le conseiller national socialiste Roger Nordmann se dit «pas du tout d'accord». Pour lui, l'interdiction en question a le grand mérite de fixer une stratégie claire. Il est d'accord avec l'idée que les centrales nucléaires sont «horriblement chères» et qu'il ne viendrait à l'esprit de personne d'en construire. Mais il estime que si on levait l'interdiction, il en résulterait un débat improductif qui freinerait les investissements dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Il nous semble que cette volonté d'empêcher la discussion témoigne d'une conception assez particulière de la démocratie. Reste que le débat sur les centrales nucléaires est déjà lancé, comme le souligne l'article. À nos yeux, il serait plus productif sans cette interdiction. (*M.Re./D.B. d'après le Tages-Anzeiger, des 13 et 14 mai 2024*)

20^e Assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse

L'Assemblée générale 2024 du Forum nucléaire suisse, qui s'est déroulée le 22 mai au Circle Convention Center de l'aéroport de Zurich, a été un véritable succès. Deux invités d'honneur, deux jeunes musiciens talentueux et un invité de marque, Rafael Mariano Grossi, directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), ont contribué à cette réussite.

Dans leur rétrospective, le président du Forum nucléaire suisse, Hans-Ulrich Bigler, et le secrétaire général de l'association, Lukas Aebi, ont souligné le fait que le débat public sur l'énergie nucléaire avait continué à prendre de l'ampleur en Suisse et à travers le monde. Et le Forum nucléaire a largement contribué à cet état de fait. Avant de s'atteler au premier point à l'ordre du jour, M. Bigler a remis leur diplôme aux deux invités d'honneur: Joel Billeter et Silvan Etter, qui ont obtenu le prix «Énergie», sponsorisé par le Forum nucléaire suisse, dans le cadre du Concours national «Science et jeunesse» (cf. article p. 34).

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 annuel et les comptes annuels 2023. Ils ont également donné décharge au comité (décharge des organes de l'association). Par ailleurs, Noël Graber (Axpo Services AG), Thomas Porchet (Axpo Power AG) et Alexander Puhler (Alpiq) ont été proposés pour succéder à Michaël Plaschy (Alpiq), Antonio Somavilla et Roland Schmidiger (beide Axpo) au sein du comité. Et Alexander Puhler a pris la relève de Michaël Plaschy au poste de



Le conférencier invité de cette année – le directeur général de l'AIEA, Rafael Grossi, – a fait une présentation intitulée «Global Energy Issues: What role for nuclear power?» (Photo: Forum nucléaire suisse)

vice-président. Les conseillers nationaux Manfred Bühler (UDC Berne) et Peter Schilliger (PLR Lucerne), et Lukas Schmidt (centrale nucléaire de Leibstadt) se sont eux aussi mis à la disposition du comité. L'assemblée a suivi la proposition du comité et a souhaité la bienvenue aux six candidats.

L'article 13 des statuts prévoit que l'organe de révision du Forum nucléaire suisse soit choisi chaque année. La société Dr. Balsiger & Partner AG de Zofingen, qui avait repris le mandat de révision l'an dernier, a fait part de sa volonté d'intervenir une année de plus. Elle a été réélue à l'unanimité.

Les jeunes musiciens Nicole Geelhaar et Attila Zimmermann, de l'école cantonale de Baden, ont joué au piano des morceaux de musique classique de plusieurs compositeurs. (M.A./C.B.)

Expertise dans le secteur nucléaire: le directeur général de l'AIEA, Rafael Grossi, entrevoit de grandes possibilités pour la Suisse

Dans sa présentation, Rafael Mariano Grossi, directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), a estimé que la Suisse jouait un rôle particulier pour le secteur nucléaire et présentait un potentiel important.

M. Grossi a rappelé son profond attachement pour la Suisse: sa première mission diplomatique était en effet en Suisse et, pour lui, c'est une chose dont on se souvient toujours avec plaisir. Par ailleurs, il a vécu en Suisse plusieurs événements marquants de sa vie personnelle: la naissance de ses enfants, ses études.

M. Grossi a également souligné la contribution centrale de la Suisse aux débats actuels sur l'énergie et le nucléaire menés à travers le monde. Il a rappelé la longue histoire qui lie la Suisse au secteur de l'énergie nucléaire, ainsi que l'expertise vaste de celle-ci. «La Suisse

possède un savoir-faire considérable ainsi qu'une grande expérience dans le secteur nucléaire», a déclaré le directeur de l'AIEA. Il a encouragé notre pays à mettre à profit ces connaissances et cette expertise dans la tendance mondiale à utiliser plus massivement l'énergie nucléaire.

M. Grossi est ensuite revenu sur les derniers développements de l'énergie nucléaire et sur les pratiques au niveau international. De son point de vue, la dernière Conférence sur le climat, organisée à Dubai, a marqué un tournant puisque dans le document final, les 30 chefs d'État, en provenance du monde entier, ont reconnu la nécessité que l'énergie nucléaire soit acceptée et encouragée. M. Grossi a aussi rappelé que l'énergie nucléaire fournit, déjà aujourd'hui, 50% de l'énergie propre produite en Europe et entre 25 et 27% au niveau mondial. Il estime que l'ensemble des énergies pauvres en émissions doivent être prises en compte pour lutter contre les changements climatiques.

Concernant la Suisse, M. Grossi a souligné l'importance de la politique énergétique et la nécessité de s'aligner sur la tendance mondiale. «Il serait étrange que la Suisse ne profite pas de cet élan mondial suscité par l'énergie nucléaire», a-t-il déclaré. M. Grossi a rappelé que la centrale la plus ancienne au monde encore en service, Beznau, se trouve en Suisse, et qu'elle illustre la longévité et la fiabilité de l'énergie nucléaire. Elle fait office d'exemple pour d'autres pays en matière d'entretien d'une installation nucléaire.

À l'issue de sa présentation, M. Grossi a souligné le travail de l'AIEA, en particulier dans les régions en crise telles que l'Ukraine, et a insisté sur l'importance de la sécurité nucléaire. Il a rappelé l'action engagée de l'AIEA depuis déjà de longues années pour éviter les accidents nucléaires et promouvoir l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. (A.D./C.B.)

Concours national Science et jeunesse: prix spécial du Forum nucléaire suisse

Lors de la finale du concours national Science et Jeunesse, Joel Billeter et Silvan Etter se sont vu décerner le prix spécial Énergie pour leur travail de maturité professionnelle intitulé «Quel type de propulsion pour quelle ligne de transport public à Zurich?». C'est la deuxième fois que le Forum nucléaire suisse sponsorise ce prix.

La fondation Science et jeunesse s'emploie depuis un demi-siècle à encourager la relève scientifique suisse. Les prix et les distinctions décernés lors du concours national qu'elle organise traditionnellement à la fin avril ont lancé bon nombre de carrières de professeurs d'EPF et de pionniers de l'industrie. Le Forum nucléaire a toujours accordé une grande importance à la promotion de la relève, car la Suisse manque de personnel qualifié dans les domaines des sciences naturelles et de la technique. Dans les années à venir, l'ensemble de la branche de l'énergie continuera à avoir besoin de professionnels bien formés. Il est donc essentiel de soutenir les jeunes talents et de reconnaître leurs accomplissements. C'est un investissement dans l'avenir.

C'est pourquoi le Forum nucléaire a décidé en 2023 de décerner un prix spécial pour les travaux dans le domaine de l'énergie présentés lors du concours national de la Fondation Science et jeunesse. Ce prix, qui était remis cette année pour la deuxième fois, a été attribué à Joel Billeter et Silvan Etter. Les lauréats ont été désignés par un jury d'experts lors d'une compétition très disputée qui s'est tenue fin avril à Fribourg. Joel Billeter et Silvan Etter se sont penchés sur la question de savoir quel mode de propulsion était le mieux adapté à quelle ligne des transports publics zurichois (VBZ). Après avoir analysé les différents modes de propulsion sous l'angle des émissions polluantes et de la rentabilité, ils les ont comparés avec les besoins opérationnels des différentes lignes des VBZ. Résultat: l'idéal, ce sont les trolleybus, équipés le cas échéant d'une batterie supplémentaire. Ce travail, qui traite d'un thème important en termes d'urbanisme et de transports publics, a convaincu le jury d'expert par sa présentation professionnelle des fondements techniques. Cela lui a valu la mention «Très bien». En plus du prix spécial, les lauréats ont été les invités d'honneur du Forum nucléaire suisse lors de son assemblée générale. (M.A./D.B.)



Joel Billeter et Silvan Etter – les lauréats du prix spécial Énergie du Forum nucléaire suisse – sont félicités lors de l'assemblée générale. (Photo: Forum nucléaire suisse)



Vidéo YouTube du projet: «Welcher Typ für welche Züri-Linie» [Quel type de propulsion pour quelle ligne des transports publics de Zurich?] (en allemand)

Journée des doctorants du centre Nuclear Engineering and Sciences du PSI

Le centre Nuclear Engineering and Sciences (NES) de l'Institut Paul-Scherrer (PSI) a célébré sa Journée annuelle des doctorants (PhD Day) le 23 avril. À cette occasion, pas moins de 27 doctorantes et doctorants ont présenté leurs travaux de recherche à un jury. Les meilleures présentations ont ensuite été récompensées par des prix sponsorisés par le Forum nucléaire suisse.

Le jury a attribué le prix de 500 francs à Mme Sevgi Ekin Bayram (doctorante de première année) pour la présentation qu'elle a faite de son travail de recherche intitulé «Kinetics and Thermodynamics of Transition Metal Doped Calcium-Silicate-Hydrates (C-S-H)» (Cinétique et thermodynamique des C-S-H dopés aux métaux de transition). Elle mène ses recherches dans deux laboratoires du PSI: le laboratoire Waste Management du NES et le laboratoire Sustainable Energy Carriers and Processes du centre Energy and Environmental Sciences.

Dans la catégorie des doctorants de deuxième année, le vainqueur se nomme Alvaro Ramos Pérez et il travaille au laboratoire Reactor Physics and Thermal-Hydraulics du NES. La présentation qu'il a donnée de son travail intitulé «Visualization and characterization of multiphase mass transfer in gas-liquid flows: application to aerosol

pool scrubbing» (Visualisation et caractérisation du transfert de masse multiphasique dans les écoulements gaz-liquide: application à l'épuration par barbotage des aérosols) lui a valu un prix de 1000 francs.

Enfin, le prix de 1500 francs destiné aux doctorants de troisième année a été attribué à Jennifer Marie Wilson du laboratoire Radiochemistry du NES pour sa présentation de son travail intitulé «Online and Offline Gas-Phase Chromatography of Thallium (Tl) for Nihonium (Nh)» (Chromatographie en phase gazeuse en ligne et hors ligne de Tl pour Nh).

Le Forum nucléaire suisse félicite les lauréates et le lauréat pour leur excellent travail et leurs remarquables présentations (B.G./D.B.)



Photo de groupe avec les lauréates et lauréats. De gauche à droite: Prof. Andreas Pautz (directeur du NES), Sevgi Ekin Bayram, Alvaro Ramos Pérez, Jennifer Marie Wilson et Benedikt Galliker (Forum nucléaire suisse), et Maria Marques Fernandes (cheffe adjointe du NES, devant).
(Photo: PSI)

4^e Rencontre du Forum

Le **mardi 13 août 2024**, nous visiterons l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire Cern, à Genève.



Photo: Cern

Cours de perfectionnement du Forum nucléaire suisse

Le **jeudi 28 novembre 2024** au Trafo de Baden «Les développements actuels au sein de l'industrie nucléaire internationale – opportunités et risques pour les installations nucléaires suisses»



Photo: Forum nucléaire suisse

Nouvel épisode de notre podcast «NucTalk»

Dans le 32^e épisode de notre podcast NucTalk, nous tendons le micro au militant nucléaire canadien Chris Keefer (en anglais). Tous nos podcasts sont disponibles à la page www.nuklearforum.ch/de/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

Encore deux apéritifs de la SOSIN en 2024

Les prochains apéritifs de la SOSIN seront organisés les **jeudis 5 septembre et 14 novembre**.

www.kernfachleute.ch



Photo: SOSIN / Max Brugger

16^e séminaire de base de la SOSIN

La Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN) prévoit d'organiser du **30 septembre au 3 octobre 2024** à Macolin son séminaire de base sur l'énergie nucléaire. Celui-ci 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

Impressum

Rédaction:

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

Traduction:

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

Éditeurs:

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 2024 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.

