

Décembre 2024

BULLETIN 4



Les centres de données misent sur le nucléaire

Page 5

Analyse des réacteurs innovants

Page 2

Comment les nouvelles constructions sont-elles financées?

Page 16

Fraude alimentaire: quand les étiquettes nous mentent

Page 19

Table des matières

Éditorial

L'intérêt des géants de la tech, un facteur de relance 1

Entretien avec...

Les systèmes de réacteurs innovants: défis et opportunités 2

Informations de fond

Le défi de l'alimentation en électricité des centres de calcul 5

Quatre SMR pour Darlington: les grandes choses commencent petit 10

Financement: rien n'est possible sans une stratégie efficace 16

Fraude alimentaire: mieux la détecter grâce à la technologie nucléaire 19

Décryptage

Pour une réautorisation de la construction de centrales nucléaires 24

Brèves nucléaires

En Suisse 26

À l'étranger 27

La der nucléaire

Établir les bases industrielles pour la relance du nucléaire 30

Couac!

La Fondation Suisse de l'Énergie et les signatures 33

Notre suggestion de lecture

Walter Rüegg nous apprend la peur 34

Pour mémoire

36

Page de couverture:

Dans un monde de plus en plus numérique, la demande en puissance de calcul, et par-là en électricité, ne cesse de croître. L'énergie nucléaire offre ici une option fiable et pauvre en CO₂. (Photo: Forum nucléaire suisse assisté par l'IA)

L'intérêt des géants de la tech, un facteur de relance



Matthias Rey

Responsable médias et rédacteur,
Forum nucléaire suisse

«Vers un «comeback» de l'énergie nucléaire?» titrait l'éditorial de notre dernier numéro. Depuis, il s'est passé beaucoup de choses, ce qui a renforcé mon optimisme quant à la réponse à cette question. Le conseiller fédéral Albert Rösti a notamment annoncé un contre-projet indirect à l'initiative «Stop au blackout». Cette proposition prévoit de lever l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires à l'échelon de la loi, et non de la Constitution comme le demande l'initiative. Vous trouverez à ce sujet un article d'opinion rédigé par le conseiller national Peter Schilliger, qui siège au Comité du Forum nucléaire depuis cette année. Et la rubrique «Couac!», consacrée à la levée de boucliers d'antinucléaires notoires face à l'initiative, remet comme à l'accoutumée l'église au milieu du village.

Au niveau international, la volonté de plusieurs géants de la tech de miser sur l'énergie nucléaire pour approvisionner en électricité leurs centres de données et de calcul constitue un facteur de relance pour l'atome. Néanmoins, un tel retour requiert des conditions-cadres adéquates. L'un de nos auteurs invités a rédigé un article à propos des bases industrielles requises, et nous vous proposons également le compte rendu d'une étude sur le financement des centrales nucléaires. De plus, nous mettons en lumière la manière dont l'énergie nucléaire est utilisée pour lutter contre la fraude alimentaire. Et nous abordons la technologie des réacteurs de demain et d'après-demain au travers d'un article de fond sur les SMR au Canada et d'une interview passionnante sur la génération IV.

Noël approche et, au vu des craintes liées à la radioactivité, un livre trouvera peut-être sa place sous votre sapin: «Zeitalter der Ängste – Aber fürchten wir uns vor dem richtigen?» de Walter Rüegg. Il porte sur ce dont nous devrions vraiment avoir peur, et ce qui ne devrait en aucun cas nous inquiéter. Nous vous le présentons à la page 34.

Joyeuses fêtes et beaucoup de plaisir à la lecture du dernier Bulletin de l'année!

Les systèmes de réacteurs innovants: défis et opportunités



Natalia Amosova

Consultante principale
chez Apollo+ GmbH

Les réacteurs de génération IV promettent une nouvelle ère technologique caractérisée par une plus grande sûreté des installations, une utilisation plus efficace des ressources et la réduction des déchets radioactifs. Grâce à leur conception innovante et à leurs systèmes de sûreté passifs, ils pourraient permettre de surmonter les défis posés à l'énergie nucléaire de demain. Ces réacteurs offrent en outre des possibilités d'utilisation flexibles, allant de la production d'électricité à celle de chaleur industrielle, et devraient pouvoir être mis sur le marché à partir du début des années 2030. Natalia Amosova d'Apollo+ fait le point sur cette nouvelle technologie.

Cela fait des décennies que l'on discute, étudie et développe des concepts de réacteurs innovants au niveau international. Certains d'entre eux entrent dans la catégorie des «réacteurs de génération IV». Qu'ont-ils de particulier?

Les réacteurs de génération IV représentent une avancée majeure en matière de technologie nucléaire. Ils se caractérisent par une conception intrinsèquement sûre basée sur des systèmes de sûreté passifs, par un taux d'utilisation du combustible nettement plus élevé que les réacteurs actuels et par un cycle du combustible fermé. Ils sont conçus pour réduire considérablement la quantité de déchets radioactifs et disposent de propriétés améliorées pour empêcher la prolifération des matières fissiles. De plus, leur température de fonctionnement plus élevée que celle des systèmes d'aujourd'hui permet un meilleur rendement ainsi que la production de chaleur industrielle.

Dans le cadre du «forum international Génération IV» (Generation IV International Forum, GIF), six concepts de réacteurs font l'objet d'intenses activités de recherche

et développement. Il s'agit notamment du réacteur rapide refroidi au sodium, du réacteur à très haute température et du réacteur à sels fondus. Ces systèmes font appel à différents caloporteurs, comme le sodium, le plomb ou l'hélium, pour assurer leur refroidissement, et ils sont conçus pour obtenir une efficacité économique maximale. Grâce à une construction standardisée et à une conception évolutive permettant de passer d'une petite à une grande installation, les durées de construction devraient être raccourcies et les coûts d'exploitation et de maintenance considérablement réduits. L'objectif est de pouvoir mettre sur le marché les premiers réacteurs de génération IV entre 2030 et 2040.

Il existe par ailleurs des systèmes de réacteurs qui, comme celui de Transmutex, sont également considérés comme innovants, mais n'appartiennent pas à la génération IV. Qu'entend-on dans ce cas par «innovant», par rapport à la génération IV?

Dans le cas des systèmes de réacteur comme celui de Transmutex, le terme d'innovant désigne des approches

technologiques qui se distinguent des concepts classiques de la génération IV par plusieurs aspects. Tout d'abord, ces systèmes poursuivent souvent des objectifs d'optimisation spécifiques. Il peut s'agir par exemple de la transmutation de déchets radioactifs à l'aide d'accélérateurs ou du développement de systèmes particulièrement compacts ou modulaires. De plus, à la différence des réacteurs de génération IV, qui sont conçus comme des systèmes de centrale électrique complets destinés à l'approvisionnement en énergie, les systèmes de réacteurs innovants peuvent constituer des solutions dédiées à des applications particulières. Enfin, alors que les réacteurs de génération IV doivent respecter un cadre de développement international standardisé et un certain nombre de critères prédéfinis, les concepts de réacteurs innovants peuvent être conçus de manière plus flexible et explorer de nouvelles pistes technologiques. Ces systèmes peuvent certes poursuivre des objectifs similaires à ceux des réacteurs de la génération IV, tels que l'amélioration de la sûreté ou l'utilisation plus efficace des ressources, mais ils misent sur des solutions techniques alternatives.

Quels sont les avantages potentiels de tous ces nouveaux systèmes de réacteurs par rapport à la génération actuelle de centrales nucléaires?

Par rapport aux centrales nucléaires actuelles, les systèmes de réacteurs de la génération IV offrent des avantages décisifs en termes de sûreté, de rentabilité et de durabilité. La sûreté passive est nettement améliorée par des caractéristiques inhérentes à la conception de ces réacteurs, de sorte que même en cas de perte totale de l'alimentation électrique, aucune fusion du cœur n'est possible. L'utilisation du combustible est 50 à 100 fois plus efficace, ce qui réduit drastiquement la consommation d'uranium et augmente la sécurité d'approvisionnement. De plus, ces systèmes permettent une réduction significative des déchets de haute activité, tant en termes de quantité que de durée de stockage nécessaire.

Les températures de fonctionnement élevées propres aux systèmes de génération IV permettent non seulement un meilleur rendement dans la production d'électricité, mais ouvrent également la voie à de nouvelles applications telles que la production de chaleur industrielle ou d'hydrogène. En outre, grâce à leur capacité à utiliser les déchets nucléaires existants comme combustible et

à les transformer en isotopes à vie plus courte, ces réacteurs contribuent à résoudre le problème des déchets.

Et quels sont leurs inconvénients potentiels?

L'un des aspects essentiels est la complexité technique de ces systèmes, qui se traduit par exemple, pour les réacteurs rapides, par les exigences spécifiques posées aux matériaux et composants, qui doivent résister à des températures élevées et à un rayonnement neutronique intense. De même, l'utilisation de nouveaux caloporteurs tels que le plomb ou les sels fondus requiert des solutions innovantes en matière de protection contre la corrosion et de maintenance. Le développement et la qualification de ces technologies, ainsi que la mise en place des chaînes d'approvisionnement nécessaires, sont des processus de longue haleine qui impliquent des coûts considérables.

Un autre inconvénient potentiel réside dans le manque d'expérience opérationnelle à l'échelle commerciale pour bon nombre de ces concepts. D'où des incertitudes dans les prévisions de coûts et la nécessité de réaliser des projets de démonstration couvrant tous les aspects pertinents avant une mise sur le marché à grande échelle. Les procédures d'autorisation de ces systèmes d'un genre nouveau représentent également un défi, car les autorités de surveillance doivent élaborer de nouveaux critères d'évaluation et de nouvelles méthodes d'analyse.

Il est reproché à ces systèmes de réacteurs d'arriver trop tard pour l'approvisionnement énergétique futur. Ils seraient encore loin de pouvoir être mis sur le marché à grande échelle, trop chers et présenteraient des risques en termes de sûreté. Que répondez-vous à ces critiques?

L'affirmation selon laquelle ces systèmes de réacteurs arrivent «trop tard» pour l'approvisionnement énergétique futur fait bien peu de cas de l'objectif premier des sources d'énergie durables et stables, à savoir la sécurité d'approvisionnement à long terme. De plus, il faut bien voir que les besoins en énergie ne cessent de croître en raison de différents facteurs: l'électrification, l'IA et les centres de données qu'elle requiert, de même que la transition générale vers une économie durable. Les capacités de charge de base fiables et pauvres en carbone

continueront donc de jouer un rôle important à l'avenir, y compris pour la chaleur industrielle. Dans ce contexte, les développeurs des systèmes de génération IV appliquent une approche systématique en échelonnant des projets de démonstration de différents ordres de grandeur afin de valider et d'optimiser progressivement leurs technologies. Cette approche méthodique prend certes beaucoup de temps, mais elle est essentielle à l'introduction sûre et fiable de ces technologies innovantes. Quant à la critique concernant les coûts, elle apparaît prématurée étant donné que la plupart des systèmes sont encore en phase de développement et de démonstration, et qu'on ne dispose pour l'heure pas de données robustes issues de l'exploitation commerciale. La

construction modulaire et la production en série recèlent un potentiel d'économie considérable. En ce qui concerne la sûreté, les développeurs misent sur un processus de validation en plusieurs étapes, allant de petites installations expérimentales à des prototypes commerciaux en passant par des réacteurs de démonstration. Cette approche permet de tester et d'optimiser en profondeur les systèmes de sûreté et les procédures d'exploitation avant de passer à la construction d'installations commerciales. Les caractéristiques de sûreté intrinsèques et passives de ces réacteurs sont ainsi testées et validées de manière intensive à chaque phase de développement. L'introduction progressive de ces technologies permet en outre d'acquérir de l'expérience opérationnelle et de faire évoluer les systèmes en continu.

Natalia Amosova est consultante principale chez Apollo+ GmbH, où elle gère des projets pour des exploitants d'installations nucléaires et des clients industriels dans les domaines de la conformité réglementaire, de la sûreté nucléaire, de la stratégie énergétique et de la «due diligence». Avant d'exercer cette fonction, elle a dirigé l'unité commerciale en charge de l'énergie nucléaire d'un fournisseur de centrales nucléaires, ce qui lui a permis de soutenir l'industrie nucléaire mondiale pendant plusieurs années à partir de 2014. Encore auparavant, elle a travaillé pour un grand fournisseur de composants nucléaires, d'abord dans la vente, puis dans la gestion de projets, le développement des affaires et le lancement de nouveaux systèmes de sûreté après Fukushima. Elle a commencé sa carrière dans le domaine du démantèlement des centrales nucléaires.

Natalia Amosova a étudié le génie mécanique en Allemagne. Elle est membre du Comité de la Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN), conseillère indépendante de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et participe à de nombreux groupes de travail nationaux et internationaux. Elle est en outre une experte en radon reconnue par l'Office fédéral de la santé publique.

Quels types de réacteurs jugez-vous prometteurs en termes de maturité technologique et de maturité commerciale, et à quel horizon pensez-vous qu'ils pourraient être mis sur le marché?

Les réacteurs à lit de boulets basés sur du combustible Triso offrent des perspectives prometteuses de mise sur le marché à brève échéance. Ce type de réacteurs, qui comprend par exemple le Xe-100 refroidi au gaz de X-Energy ou le KP-FHR refroidi au sel de Kairos Power, combine des caractéristiques de sûreté avancées avec des avantages pratiques pour une utilisation commerciale. Le grand intérêt manifesté par des entreprises technologiques de premier plan – Amazon a récemment investi dans X-Energy et Google a conclu un accord de développement avec Kairos Power – souligne le potentiel économique de cette technologie. La sûreté intrinsèque du combustible Triso, associée à la flexibilité de la conception modulaire, rend ces réacteurs particulièrement attrayants pour une mise sur le marché à l'horizon 2029–2032.

La maturité technologique de ces systèmes est démontrée de manière impressionnante par l'exploitation réussie du HTR-PM chinois, qui est raccordé au réseau depuis décembre 2021 et qui constitue la première application commerciale de la technologie du lit de boulets Triso. Ce réacteur a confirmé la sûreté intrinsèque du concept lors d'essais pratiques qui ont prouvé, pour la première fois au monde, qu'un réacteur commercial de cette taille peut refroidir naturellement et en toute sécurité sans système de refroidissement d'urgence.

Le défi de l'alimentation en électricité des centres de calcul

Les besoins en électricité des centres de calcul montent en flèche en raison de la demande croissante de cloud computing, d'intelligence artificielle et d'autres applications très gourmandes en données. Certaines entreprises technologiques, surtout aux États-Unis, commencent donc à envisager de recourir à l'énergie nucléaire pour assurer à leurs centres de calcul une alimentation en électricité fiable et respectueuse de l'environnement.

En automne 2023, une offre d'emploi publiée par Microsoft a fait sensation: le géant de la tech cherchait un «Principal Program Manager Nuclear Technology» qui aurait notamment pour mission de déterminer d'un point de vue technique s'il est possible d'utiliser de petits réacteurs modulaires (SMR) ou des microréacteurs pour alimenter en électricité les centres de calcul dédiés au cloud et à l'intelligence artificielle. Les centres de calcul en question étant très énergivores, cette démarche fait sens. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a d'ailleurs récemment déclaré qu'elle s'attendait à ce que la consommation d'électricité des centres de calcul double d'ici 2026 à l'échelle mondiale. Et dans le livre blanc «Powering Intelligence – Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption» publié en mai 2024, l'organisation américaine à but non lucratif Electric Power Research Institute (EPRI) indique qu'une recherche sur Internet faisant appel à l'IA consomme

2,9 wattheures, contre 0,3 wattheure pour une recherche traditionnelle. Quant à la création de musique, de photos et de vidéos assistée par l'IA, elle pourrait s'avérer encore plus énergivore.

Le fait est que les grands groupes technologiques tels qu'Amazon, Apple, Meta, Google (Alphabet) et Microsoft font monter en flèche la consommation d'électricité, principalement en raison de la croissance rapide de leurs centres de calcul. Ces derniers sont indispensables au bon fonctionnement des services cloud et d'autres processus numériques ainsi qu'au développement de l'IA. Mais ils consomment des quantités gargantuesques d'électricité pour assurer le fonctionnement des serveurs, systèmes de refroidissement et autres équipements nécessaires au stockage et au traitement d'un volume tout aussi énorme de données. Selon l'EPRI, les centres de calcul pourraient consommer jusqu'à 9% de



AWS a acheté à Talen Energy le campus de centre de calcul «Cumulus», qui est directement connecté à la centrale nucléaire de Susquehanna. (Photo: Linxon)

l'électricité produite aux États-Unis à l'horizon 2030, ce qui représente plus du double de leur consommation actuelle. C'est pourquoi les exploitants de ces centres, qui restent désireux d'atteindre les objectifs de durabilité qu'ils se sont fixés, souhaitent conclure des contrats d'achat à long terme d'électricité bas carbone.

Amazon Web Services (AWS)

Début mars 2024, l'énergéticien Talen Energy Corporation a annoncé avoir vendu Cumulus, un campus de centre de calcul de 1200 hectares, à Amazon Web Services (AWS), une filiale d'Amazon qui fournit des plates-formes de cloud computing, pour un montant de 650 millions de dollars. Le campus Cumulus, qui dispose de quatre sous-stations offrant un potentiel total de 960 MW, est directement connecté à la centrale nucléaire de Susquehanna, dans le nord-est de la Pennsylvanie.

«Nous sommes convaincus que cette transaction est porteuse de progrès et d'avantages à long terme», a déclaré Mark McFarland, président et CEO de Talen Energy, lors d'une discussion avec des investisseurs et des représentants des médias. En effet, la consommation mondiale d'électricité est en pleine croissance «et les centres de données sont au cœur de cette évolution», a-t-il précisé.

«Il y a quelques années, Amazon s'est fixé l'objectif ambitieux d'atteindre la neutralité climatique d'ici à 2040, soit dix ans avant l'accord de Paris. Dans le cadre de cet objectif, nous sommes en train de passer à une alimentation à 100% renouvelable pour nos sites, ce qui sera chose faite en 2025, soit cinq avant le délai de 2030 que nous nous étions fixé initialement», a déclaré un porte-parole d'Amazon. «Pour compléter nos projets solaires et éoliens, dont la production dépend des conditions météorologiques, nous étudions de nouvelles technologies et innovations, et investissons dans d'autres sources d'énergie propres et exemptes de carbone. L'accord conclu avec Talen Energy s'inscrit dans cette dynamique.»

Selon la présentation donnée par Talen Energy à l'intention des investisseurs, l'entreprise fournira au nouveau centre de données d'AWS de l'électricité nucléaire à prix fixe pendant la phase de construction. En retour, AWS assumera des obligations minimales d'achat d'électricité

définies contractuellement, qui augmenteront par tranches de 120 mégawatts sur plusieurs années. L'entreprise informatique dispose d'une option unique pour plafonner ses engagements à 480 MW et de deux options de prolongation de 10 ans liées aux décisions qui seront prises en 2042 et 2044 quant au renouvellement de l'autorisation d'exploiter les deux réacteurs de Susquehanna.

Le 1^{er} novembre 2024, à la suite d'un recours déposé par les groupes énergétiques Exelon et American Electric Power, la Federal Energy Regulatory Commission (FERC) américaine a toutefois invalidé, par deux voix contre une, l'accord conclu entre Talen Energy et AWS, au motif que l'achat de grandes quantités d'électricité prévu par AWS

Les effets négatifs d'une trop grande proximité

L'implantation de centres de données à proximité d'une centrale nucléaire (ou d'un autre type de centrale électrique) pour en soutirer directement de l'électricité (pratique désignée par l'anglicisme de «co-location») devient de plus en plus fréquente, car elle répond au besoin de ces centres de disposer d'énergie bon marché, stable et exempte de carbone. Selon Tony Clark, spécialiste du sujet et conseiller chez Wilkinson Barker Knauer, la «co-location» n'est toutefois pas sans poser des problèmes d'équité, car le raccordement direct à une centrale électrique évite le paiement des redevances qui contribuent à financer l'entretien du réseau. Conséquences potentielles: réduction de l'offre d'électricité et hausse de son coût pour les consommateurs privés. «Il existe toute une série de coûts qui sont facturés par l'intermédiaire des gestionnaires de réseau, et que l'on n'a pas à payer si l'on n'est pas raccordé à l'installation de production au travers du réseau», indique M. Clark. «Ces coûts sont l'élément de la facture qui va augmenter pour tous les autres consommateurs d'électricité». Toujours selon M. Clark, ce problème relève de la sphère politique.

pourrait mettre en péril la sécurité du réseau et avoir des répercussions négatives sur les clients des fournisseurs d'énergie (voir encadré p. 6). Talen Energy cherche actuellement des solutions pour lever les objections du régulateur.

Microsoft

Microsoft Corporation envisage également de recourir à l'énergie nucléaire pour assurer l'approvisionnement en électricité de ses centres de calcul. L'entreprise technologique a conclu un partenariat avec Constellation Energy Corporation pour remettre en service la tranche nucléaire Three Mile Island 1, en Pennsylvanie, qui avait été déconnectée prématurément du réseau il y a cinq ans pour raisons économiques. L'accord, qui court sur 20 ans, sert les objectifs climatiques de Microsoft. «Sa conclusion représente une étape importante dans les efforts déployés par Microsoft pour contribuer à la décarbonation du réseau électrique», a indiqué Bobby Hollis, Vice President of Energy chez Microsoft. «Elle soutient notre objectif de devenir neutre en carbone.»

Selon Constellation, des investissements importants seront réalisés pour préparer ce redémarrage. La remise en service de l'installation requiert notamment l'accord de l'autorité de sûreté nucléaire (la NRC), ce qui implique une évaluation complète de la sûreté et des impacts environnementaux de l'installation, ainsi que l'aval des autorités nationales et locales compétentes. Constellation vise une reconnexion au réseau à l'horizon 2028 et, parallèlement, une prolongation jusqu'en 2054 au moins de l'autorisation d'exploiter.

Les petits réacteurs modulaires (SMR) également en lice

Les SMR pourraient eux aussi jouer un rôle clé en s'intégrant directement dans l'infrastructure des centres de calcul, leur offrant ainsi une source d'énergie fiable et exempte de CO₂. L'actuelle secrétaire américaine à l'Énergie Jennifer Granholm entend promouvoir activement le développement de cette technologie.

Plusieurs entrepreneurs s'engagent personnellement en faveur des technologies nucléaires innovantes. Ainsi, Bill Gates, le cofondateur de Microsoft, est l'un des principaux investisseurs soutenant le développeur de SMR



Les centres de calcul Microsoft du nord-est des États-Unis devraient être alimentés en électricité par la tranche 1 de la centrale nucléaire de Three Mile Island, en Pennsylvanie, qui sera rebaptisée Crane Clean Energy Center. (Photo: Constellation sur X)

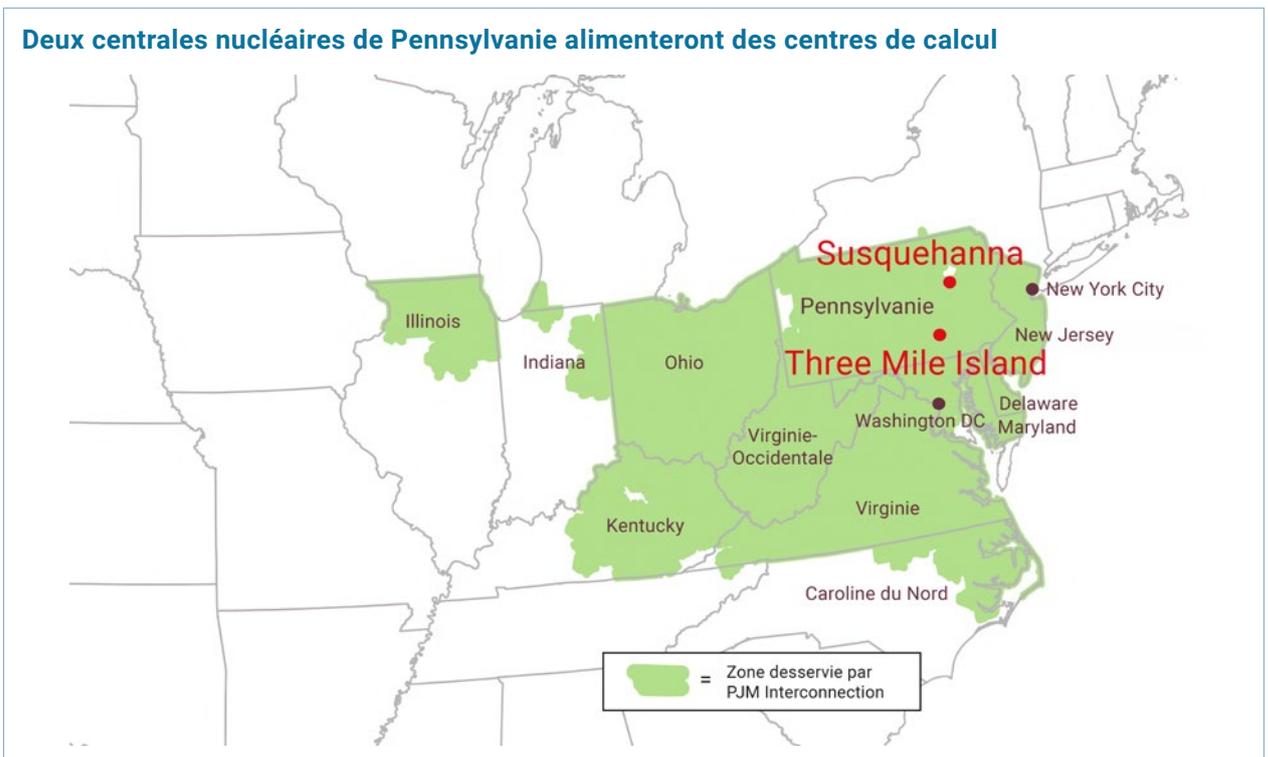
TerraPower. Quant à Sam Altman, s'il est surtout connu en tant que CEO d'OpenAI, il n'en reste pas moins étroitement lié à la start-up Oklo, qui développe elle aussi un SMR.

Les groupes technologiques Amazon, Oracle et Google envisagent ouvertement de recourir à des SMR pour approvisionner leurs centres de calcul en électricité. Et NuScale Power, un autre développeur de SMR, a lui aussi exprimé son intérêt pour des partenariats en ce sens avec de grandes entreprises technologiques.

Amazon

À la mi-octobre 2024, Amazon a annoncé la signature de trois accords visant à promouvoir des projets nucléaires, en particulier la construction de plusieurs SMR.

Conclu avec Energy Northwest, un consortium d'entreprises publiques d'approvisionnement en énergie, le premier de ces accords porte sur le financement d'une étude de faisabilité relative à la construction d'un SMR, le Xe-100 de X-energy, à proximité d'un site d'Amazon. Energy Northwest et X-energy travaillent d'arrache-pied sur ce projet depuis 2020. L'accord donne le droit à Amazon d'acquiescer le courant produit par les quatre premiers modules en projet, qui offriront une puissance totale de 320 MW. Energy Northwest pourra installer jusqu'à huit modules supplémentaires d'une puissance de 80 MW chacun, ce qui porterait à 960 MW la puis-



PJM Interconnection est le gestionnaire de réseau de transport qui gère le plus grand marché de l'électricité d'Amérique du Nord. L'entreprise coordonne les flux et le commerce d'électricité sur un réseau qui couvre 13 États ainsi que le District de Columbia, et qui englobe les centrales nucléaires de Susquehanna et de Three Mile Island. (Source: Energy Information Administration)

sance de la centrale nucléaire ainsi créée. L'énergie supplémentaire produite serait distribuée par Amazon et les entreprises d'approvisionnement à des ménages et à d'autres acteurs économiques.

Amazon s'est également engagée à investir 500 millions de dollars pour financer le développeur de réacteurs X-energy en collaboration avec Ken Griffin, fondateur et CEO de Citadel, ainsi qu'avec NGP Energy Capital, l'Université du Michigan et Ares Management Corporation. Cette somme doit permettre de soutenir le développement et l'homologation du SMR Xe-100.

Le troisième accord a été signé avec Dominion Energy pour explorer la possibilité de développer un projet de SMR à proximité de la centrale nucléaire existante de North Anna. Ce projet amènerait une augmentation de capacités d'au moins 300 MW dans l'État de Virginie, où, selon les projections de Dominion, les besoins en électricité devraient augmenter de 85% au cours des 15 pro-

chaines années. La Virginie possède en effet le plus grand parc de centres de calcul au monde. Quelque 35% des centres de données hyperscale connus dans le monde, soit près de 150, se trouvent sur son territoire. Un centre de données hyperscale est une installation dont la surface est supérieure à 10 000 m² et qui requiert une puissance moyenne de plus de 25 MW.

Oracle

Oracle est le géant de la tech qui a annoncé le plus récemment son intention de faire appel à des centrales nucléaires, notamment des SMR, pour approvisionner en électricité ses futurs centres de données et de calcul. Actuellement, l'entreprise exploite ou construit pas moins de 162 centres de données cloud dans le monde. Le plus grand d'entre eux nécessite une puissance de 800 MW. Lors d'une discussion avec des investisseurs tenue le 9 septembre 2024, le Chief Technology Officer d'Oracle, Lawrence Joseph Ellison, a annoncé son projet de construire un centre de calcul d'une puissance de

plus d'un gigawatt, qui serait alimenté en électricité par trois SMR situés à proximité. Aucune autre information n'a été donnée sur le projet. Selon M. Ellison, l'utilisation de SMR offrirait à Oracle une source d'énergie potentiellement économique et exempte de CO₂ qui permettrait à l'entreprise d'exploiter ses services cloud de manière durable. Le CTO a ajouté que ces réacteurs sont particulièrement intéressants, car ils peuvent fournir de l'énergie en continu, ce qui est essentiel à l'exploitation des grands centres de données, qui doivent fonctionner 24 heures sur 24.

Google (Alphabet)

Google – une filiale à 100% d'Alphabet – développe lui aussi des centres de calcul dont l'approvisionnement en électricité requiert une puissance supérieure à un gigawatt.

L'entreprise a signé avec le développeur de SMR Kairos Power un accord en vertu duquel celui-ci va développer, construire et exploiter une série de SMR d'une puissance totale de 500 MW. L'accord porte sur plusieurs sites et ouvre la voie à la commercialisation de petits réacteurs avancés. Le premier SMR devrait être mis en service d'ici 2030 et soutenir l'objectif de Google d'atteindre le zéro émission nette dans le cadre de l'exploitation de ses centres de calcul et tout au long de sa chaîne de valeur. Un tel objectif suppose que ses installations soient approvisionnées 24 heures sur 24 par de l'énergie exempte de CO₂. (M.A./D.B. d'après diverses sources)



Matt Garman, CEO d'Amazon Web Services (AWS): «L'un des moyens les plus rapides de lutter contre le changement climatique est de faire passer notre société à des sources d'énergie exemptes de carbone, et l'énergie nucléaire est à la fois exempte de carbone et évolutive, raison pour laquelle elle représente un domaine d'investissement important pour Amazon.» (Photo: Amazon)

Le nucléaire, une source d'énergie potentielle pour les centres de calcul

Selon l'Energy Information Administration (EIA) américaine, les exploitants de centres de calcul se tournent de plus en plus vers l'atome, car cette forme d'énergie leur garantit un approvisionnement électrique stable et décarboné 24 heures sur 24. Malgré leurs coûts de construction élevés, les centrales nucléaires produisent de l'électricité à des coûts d'exploitation relativement bas, un seul réacteur pouvant offrir une puissance de 800 MW ou plus. Les centrales nucléaires n'émettent pas de CO₂ lors de la production d'électricité, ce qui est

particulièrement intéressant pour les entreprises technologiques, qui se sont fixé des objectifs de réduction des émissions et tiennent à les atteindre.

L'EIA relève néanmoins que l'évolution de la demande d'électricité des centres de calcul reste incertaine: on ne sait pas exactement quelles capacités de traitement seront construites, combien de temps cela prendra, et quels seront les gains d'efficacité découlant du progrès technologique.

Quatre SMR pour Darlington: les grandes choses commencent petit

La centrale nucléaire de Darlington, au Canada, envisage de se doter de quatre petits réacteurs modulaires (SMR) en complément aux réacteurs Candu existants. Ces SMR devraient donner un nouvel essor au nucléaire dans la province de l'Ontario, tout en ouvrant au pays de nouvelles perspectives en matière d'exportation.

L'énergéticien canadien Ontario Power Generation (OPG) exploite depuis le début des années 1990 quatre réacteurs Candu de 878 MW chacun sur le site de Darlington, dans la province de l'Ontario, au bord du lac éponyme, dans la commune de Clarington. Au départ, l'objectif de l'entreprise était de construire de gros réacteurs de puissance, mais les choses ont tourné autrement. Rétrospective et point de situation.

Gel du projet de construction de quatre tranches nucléaires de grande puissance

C'est au début des années 2000 qu'OPG lance son projet initial d'agrandissement de la centrale nucléaire de Darlington. En 2009, l'électricien soumet à l'autorité natio-

nale de sûreté (la Commission canadienne de sûreté nucléaire, CCSN) un rapport d'impact environnemental (appelé «énoncé des incidences environnementales», EIE) et une demande d'actualisation du permis de préparation de site (nommé «permis de préparation de l'emplacement») pour un maximum de quatre tranches nucléaires. Le Plan énergétique à long terme de l'Ontario établi en 2010 prévoit lui aussi la construction de grands réacteurs de puissance pour compléter les installations existantes.

En août 2012, la CCSN délivre à OPG un permis de préparation de site valable dix ans, qui autorise des travaux préparatoires tels que défrichage, excavation et nivelle-



Vue aérienne de la centrale nucléaire de Darlington et de ses quatre tranches à eau lourde de type Candu. (Photo: OPG)

ment sur le site de la future centrale. OPG obtient également un permis environnemental pour Darlington, ce qui en fait alors le seul site du pays à disposer à la fois d'un permis de préparation de site et d'un permis environnemental valides.

En décembre 2013, le gouvernement de l'Ontario demande cependant à OPG de geler son projet. En effet, la situation en matière d'approvisionnement est jugée bonne et l'on s'attend à ce que la consommation d'électricité n'augmente que modérément. Le permis de préparation du site est toutefois maintenu dans la perspective d'une future extension.

En 2016, OPG décide de procéder à une modernisation complète de toutes les tranches de Darlington afin d'en prolonger la durée de vie de 30 ans. Les travaux devaient s'achever en 2026.

Naissance d'un nouveau projet d'extension de Darlington basé sur des SMR

À partir de 2018, OPG commence à s'intéresser à différentes technologies de SMR. En juin 2020, l'entreprise soumet à la CCSN une demande de prolongation du permis de préparation de site afin d'en éviter l'expiration. Cette demande sera approuvée en octobre 2021. En novembre 2020, l'énergéticien présente un nouveau projet de construction. Dans un premier temps, il ne prévoit de construire qu'un seul SMR. «OPG prépare la voie pour le développement et le déploiement de la prochaine génération de centrales nucléaires au Canada», déclare alors Ken Hartwick, président et CEO d'OPG.

L'entreprise défend son projet de SMR en se fondant notamment sur une étude de 2021 du Conference Board of Canada, un organisme de recherche indépendant à but non lucratif, selon laquelle «la construction et l'exploitation pendant 60 ans d'une seule installation dans l'Ontario auront un impact économique très positif pour la province». Cet effet favorable s'exercerait à la fois sur le produit intérieur brut du pays, sur les recettes fiscales de la province de l'Ontario, et sur l'emploi (création d'emplois garantis sur une période de 60 ans). Des représentants du gouvernement soulignent par ailleurs qu'il existe déjà une chaîne d'approvisionnement pour les installations nucléaires en Ontario. Les travaux de moderni-

sation des réacteurs Candu l'ont renforcée, et elle pourrait s'avérer fort utile pour les projets de SMR tout en bénéficiant d'éventuelles exportations.

Parmi les autres facteurs plaidant alors en faveur de la construction d'un SMR figurent notamment des prévisions nouvellement établies annonçant une hausse des besoins en énergie. Un rapport publié en 2022 par l'Independent Electricity System Operator (IESO) de l'Ontario indique que la province pourrait devoir plus que doubler ses capacités de production d'électricité d'ici à 2050, c'est-à-dire les porter de 42 000 MW_e à 88 000 MW_e. Ce rapport recommande que l'Ontario commence à planifier, choisir le site et évaluer l'impact environnemental d'installations de production d'électricité à longue durée de vie, notamment nucléaires.

Le fait que les centrales nucléaires réduisent les besoins en combustibles fossiles, participant ainsi à la protection du climat, joue également en faveur du projet. Fin novembre 2020, OPG s'engage à atteindre le zéro émission nette à l'horizon 2040.

Le BWRX-300 de GE Hitachi Nuclear Energy remporte le marché

Courant 2020, OPG soumet «certaines technologies de SMR» à une procédure d'examen approfondie. Sur cette base, l'énergéticien établit ensuite «une liste de trois développeurs disposant de technologies qui nous permettraient d'atteindre notre objectif d'avoir un SMR disponible commercialement d'ici à 2029 tout en remplissant nos obligations en matière de compatibilité environnementale». Les trois développeurs en question sont GE Hitachi Nuclear Energy (GEH), Terrestrial Energy et X-energy. Selon OPG, chaque technologie est évaluée en fonction d'un certain nombre de critères clés, tels que sûreté, maturité technologique, possibilité d'être homologué pour le site de Darlington, impact environnemental, potentiel de développement économique et coût.

En décembre 2021, OPG annonce avoir choisi le SMR à eau bouillante BWRX-300 de GEH (pour en savoir plus sur ce SMR, voir l'encadré de la page 15). L'entreprise se déclare convaincue que «la technologie de réacteur BWRX-300 de GEH est la mieux adaptée pour fournir une nouvelle source d'énergie nucléaire sans carbone répon-



Représentation photoréaliste du SMR à eau bouillante BWRX-300 de GEH, qu'il est prévu de construire dans le cadre du projet de nouvelle centrale nucléaire de Darlington. (Photo: GEH)

nant aux besoins d'énergie et d'électricité prévisibles de l'Ontario, et pour soutenir le potentiel de déploiement des SMR dans d'autres États canadiens désireux de réduire leur consommation de combustibles fossiles».

Financement des travaux préparatoires par la Banque de l'infrastructure du Canada

En octobre 2022, la Banque de l'infrastructure du Canada (BIC) conclut avec OPG une convention lui assurant une enveloppe de 970 millions de dollars canadiens (CHF 609 mio.) pour le premier SMR du pays. Ce montant est destiné à financer tous les travaux préalables à la construction de la partie nucléaire de l'installation, y compris la planification du projet, la préparation du site, l'achat des composants à long délai de livraison, les infrastructures liées aux services industriels, la mise en œuvre d'une stratégie numérique et les coûts de gestion de projet.

Toujours en octobre 2022, OPG dépose auprès de la CCSN une demande de permis de construire pour le BWRX-300 en projet à Darlington. Cette demande est en cours d'examen.

Réduire les coûts en construisant quatre SMR au lieu d'un

Lors d'une conférence de presse tenue en juillet 2023, Todd Smith, l'ancien ministre de l'Énergie de l'Ontario, annonce que la province collabore avec OPG en vue de construire trois SMR de plus, soit un total de quatre, à Darlington. Il précise que cette collaboration porte sur le début de la planification et sur le dépôt de la demande de permis de construire. «Cette approche basée sur la construction en série de plusieurs SMR permettra de réduire les coûts du projet en mutualisant certaines infrastructures, par exemple l'alimentation en eau de refroidissement», écrit OPG sur son site Internet. De plus, du fait du caractère modulaire des réacteurs, une fois que le premier aura été construit, les suivants seront relativement faciles à reproduire. «La construction des SMR sera échelonnée dans le temps, afin de garantir que les enseignements tirés de la construction du premier puissent être utilisés pour réaliser des économies de coûts et de temps sur les suivants. Des autorisations supplémentaires seront nécessaires pour la construction et l'exploitation des tranches 2 à 4.»

En 2023, le Conference Board of Canada publie une deuxième étude, intitulée «Ontario Power Generation – Economic Impact Analysis of Small Modular Reactors (SMRs)», qui porte cette fois sur les avantages économiques de l’extension du projet à quatre SMR. OPG y fait référence en octobre de la même année, relevant que la construction des quatre SMR de Darlington aura «un impact positif considérable sur l’économie de l’Ontario et du Canada». Toujours selon cette étude, la construction d’une série de quatre SMR rapportera quelque 15,3 milliards de dollars canadiens (CHF 9,6 mia.) au PIB du pays, dont 13,7 milliards (CHF 8,6 mia.) au PIB de l’Ontario.» La construction de ces quatre SMR entraînera la création et le maintien au cours des 65 prochaines années de quelque 2000 emplois. Pendant cette période de 65 ans, le projet générera en outre des recettes fiscales de 4,9 milliards de dollars canadiens (CHF 3,1 mia.) aux échelons communal, provincial et fédéral. «Déjà robuste, la chaîne d’approvisionnement nucléaire présente en Ontario connaîtra une croissance considérable, et s’établira comme un fournisseur de technologie propre à l’échelle mondiale», relève encore OPG.

Le 22 avril 2024, la CCSN annonce que l’étude d’impact environnemental relative à la centrale nucléaire de Darlington reste valable pour le réacteur BWRX-300. L’octroi du permis de construire la partie nucléaire de l’installation prendra toutefois encore un certain temps. La CCSN entend mener une procédure de consultation en deux étapes (avec des audiences publiques en octobre 2024 et janvier 2025), de manière à offrir aux nations et communautés autochtones ainsi qu’au grand public la possibilité de s’exprimer sur la demande déposée par OPG et de communiquer des connaissances spécialisées et des informations susceptibles d’être utiles.

OPG s’attend à obtenir le permis de construire de la première tranche en 2025. Les travaux de construction de la partie nucléaire de l’installation pourront débuter tout de suite après, et devraient se terminer au plus tard à fin 2028. La demande d’autorisation d’exploiter sera vraisemblablement déposée en 2028 également, et elle fera l’objet d’une consultation publique. Le premier SMR devrait être mis en service à fin 2029. Selon le calendrier actuel, les trois autres SMR devraient l’être d’ici le milieu des années 2030. →



Le 7 juillet 2023, Todd Smith (à gauche), alors ministre de l’Énergie de l’Ontario, et Ken Hartwick (à droite), CEO d’OPG, annoncent leur intention de construire trois SMR de plus sur le site de Darlington. (Photo: OPG)



État des travaux de construction de la partie non nucléaire du projet en juillet 2024: la paroi de pieux forés, nécessaire aux travaux d'excavation du premier bâtiment réacteur (au centre de la photo), est en cours de réalisation. Quant au mur de soutènement du puits de départ du tunnelier (sur le bas de la photo) – qui servira à réaliser la conduite d'amenée d'eau de refroidissement depuis le lac Ontario –, il est achevé.

(Photo: OPG via YouTube)

Calendrier respecté

Les premiers travaux préparatoires non nucléaires, dits de la phase 1, débutent à Darlington dès septembre 2022. Ils comprennent le nivellement du terrain, la construction de routes temporaires, l'installation du chantier, la construction de dispositifs de protection contre les inondations, et les infrastructures liées aux services industriels.

Le 11 mars 2024, OPG annonce «que le projet de centrale nucléaire de Darlington a franchi une nouvelle étape importante, et qu'il est dans les temps et dans les limites du budget», précisant que la première phase de préparation du chantier a été achevée en février. La phase 2, à savoir les principaux travaux préparatoires

non nucléaires, est confiée au partenaire de construction Aecon. Ceux-ci doivent être effectués conformément au permis de préparation du site et dans le courant de l'année. Selon OPG, ils comprennent la réalisation de la paroi de pieux forés nécessaire aux travaux d'excavation requis pour le bâtiment réacteur de la tranche 1 ainsi que les travaux d'excavation proprement dits. Par ailleurs, des travaux de défrichage, de préparation et de nivellement doivent être effectués pour les tranches 2, 3 et 4. Le mur de soutènement du puits de départ du tunnelier qui creusera le tunnel pour l'amenée de l'eau de refroidissement depuis le lac Ontario est aujourd'hui achevé. Les premiers travaux de construction des halles de fabrication et de pré-assemblage ont également commencé. «Dans la halle de fabrication sur site, les

À propos du BWRX-300

Le BWRX-300 de GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) est un petit réacteur modulaire à eau bouillante d'une puissance électrique de 300 MW. Il est basé sur l'Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR) certifié par la Nuclear Regulatory Commission (NRC) américaine, mais possède une conception fortement simplifiée. Le BWRX-300 fait appel à des composants qui ont fait leurs preuves dans d'autres réacteurs, et il mise sur une circulation naturelle de l'eau de refroidissement reposant sur des systèmes de sûreté passifs. Il est conçu pour une durée d'exploitation de 60 ans. Selon OPG, un SMR produit suffisamment d'énergie propre pour compenser les émissions annuelles de gaz à effet de serre de 160 000 voitures. Et un seul SMR de 300 MW peut éviter entre 0,3 et 2 mé-

gatonnes d'émissions de CO₂ par an, selon le type d'électricité qu'il remplace. Les quatre SMR de Darlington fourniront de l'électricité respectueuse du climat à 1,2 million de ménages.

Le BWRX-300 suscite un grand intérêt sur le plan international, et GEH étudie la possibilité de le déployer non seulement à Darlington, mais aussi dans des pays comme l'Estonie, la Pologne, la Grande-Bretagne et la République tchèque. Dans plusieurs pays, le réacteur a déjà franchi plusieurs étapes de pré-homologation (vendor design review), procédure qui vise à vérifier le respect de la réglementation. Au Canada, la pré-homologation est achevée, ce qui devrait accélérer la procédure d'homologation proprement dite.

matériaux livrés seront transformés en composants finis et prêts à être installés. Les composants finis seront ensuite transférés de la halle de fabrication à la halle de pré-assemblage, où ils seront assemblés et intégrés dans des systèmes plus grands», écrit OPG.

Le nouveau ministre de l'Énergie s'investit en faveur du nucléaire

Stephen Lecce, le nouveau ministre de l'Énergie et de l'Électrification de la province de l'Ontario, a visité le site de Darlington en juin 2024. «Le fait est que nous avons besoin de plus d'énergie. La tâche du gouvernement est de s'appuyer sur le plan déjà ambitieux de l'Ontario pour accroître la quantité d'énergie dont nous disposons en

faisant appel à toutes les technologies de production, qu'il s'agisse de nucléaire, de gaz naturel ou d'énergies renouvelables. Il nous faut suivre une approche globale pour être le mieux préparés possible pour l'avenir», a déclaré M. Lecce. «La priorité de notre ministère est de développer une énergie abordable, fiable et bien entendu propre pour la population de l'Ontario. Ce que nous ne ferons pas, et je ne le soulignerai jamais assez, [...] c'est de nous engager dans une voie idéologique qui rejette certaines formes d'énergie alors que nous avons besoin de chacune d'entre elles pour stimuler notre économie [...]». (B.G./D.B. d'après OPG et diverses autres sources)

Financement: rien n'est possible sans une stratégie efficace

Les centrales nucléaires n'apparaissent pas d'un coup de baguette magique. La préparation, la planification et la réalisation de leur construction s'inscrivent dans un environnement politique et économique complexe. L'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE vient de publier une étude sur les stratégies qui permettent ou facilitent le financement réussi de grandes installations nucléaires. L'État est toujours de la partie, sous une forme ou une autre.

Dans de nombreux pays, le marché de l'électricité a été libéralisé et restructuré au fil des décennies, ce qui n'est pas sans effets sur les investissements dans de nouvelles centrales nucléaires. Aux États-Unis et en Europe, les projets de construction sont confrontés à des dépassements de coûts et à des retards parfois massifs, ce qui aggrave encore la situation. C'est dans ce contexte que l'AEN a publié cet automne l'étude «Effective Frameworks and Strategies for Financing Nuclear New Build». En se fondant sur huit études de cas, elle met en lumière différentes situations de départ et stratégies de financement pour la construction de tranches nucléaires d'une puissance supérieure à 1000 MW_e. L'étude prend en compte à la fois des projets achevés (Barakah, Olkiluoto, Vogtle), des projets encore en construction (Akkuyu, Hinkley Point C) et des projets qui n'en sont encore qu'au stade de la planification (Dukovany, Paks, Sizewell C).

Le coût du capital joue un rôle majeur

«À côté des chaînes d'approvisionnement et du personnel qualifié, le financement est sans aucun doute l'un des défis les plus difficiles à relever pour développer l'énergie nucléaire dans le monde», écrivent les auteurs. Dans le cas des centrales nucléaires, la planification et la construction représentent la majeure partie des coûts. Une fois l'installation achevée, les coûts sont relativement stables, car les fluctuations du prix de l'uranium n'ont que peu d'impact.

Les auteurs rappellent donc que les conditions de financement et la durée de la construction sont les principaux facteurs qui influent sur le coût moyen de production de l'électricité (levelised cost of electricity, LCOE), c'est-à-dire sur la compétitivité de la nouvelle centrale nucléaire. «Ainsi, avec un taux d'intérêt de 9%, le coût du capital peut représenter les deux tiers du prix de revient de

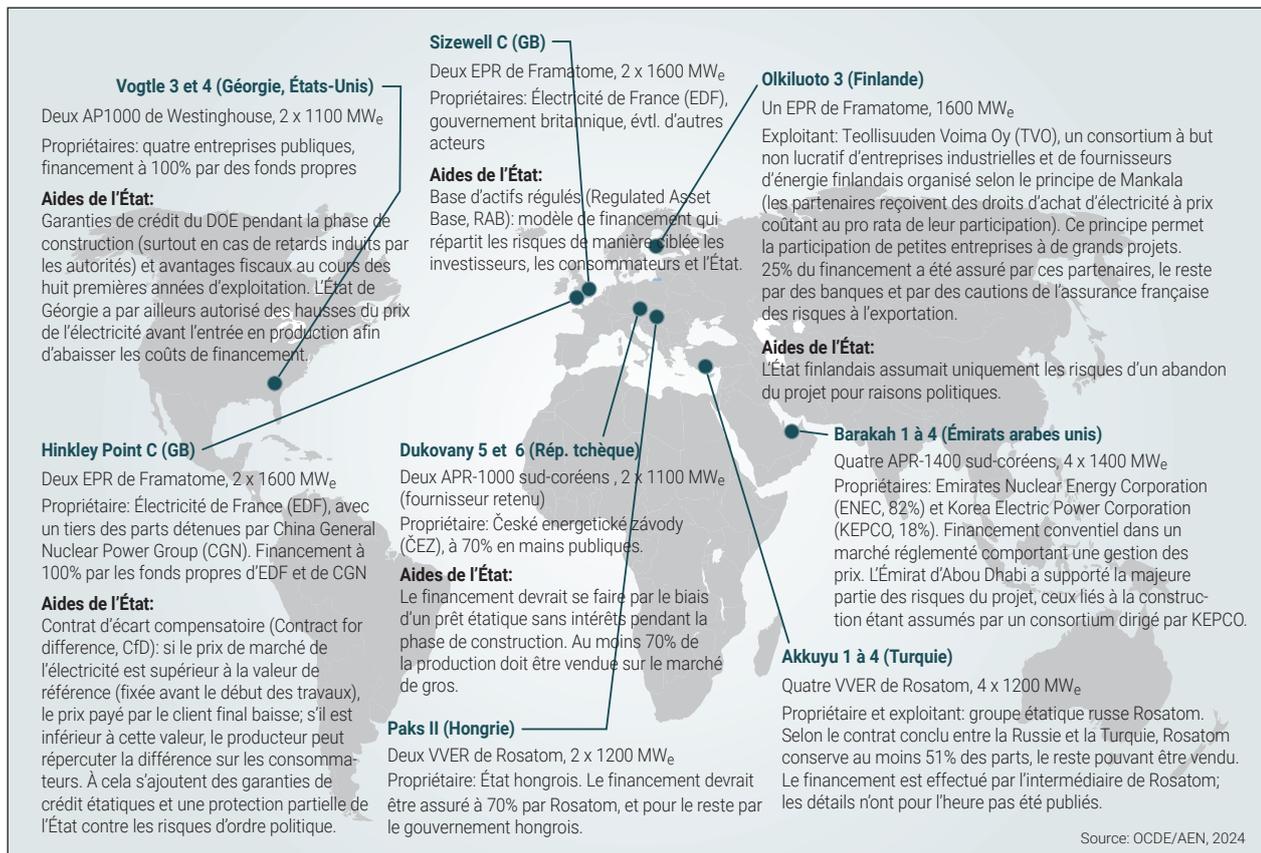
l'électricité produite [...], alors que si ce taux peut être abaissé à 3%, l'impact du coût du capital passe à moins d'un tiers du coût de production du courant», indique le rapport. Par conséquent, la gestion des risques, ou plus précisément la répartition des différents risques liés au projet de construction, revêt une importance capitale. En effet, plus le risque est grand, plus les investisseurs privés exigent des taux d'intérêt élevés.

Le niveau d'engagement de l'État varie considérablement d'un cas à l'autre

Les exemples de cas sélectionnés (voir graphique) témoignent de la diversité des mécanismes de financement. Dans le cas de Barakah ou de Dukovany, par exemple, l'État a lui-même mis à disposition des moyens importants pour atteindre des objectifs nationaux tels que la sécurité d'approvisionnement ou la décarbonation. Les projets Olkiluoto et Vogtle étaient quant à eux intégrés au marché et garantis financièrement par l'État, qui poursuivait les mêmes objectifs. Il arrive aussi parfois que le constructeur de l'installation figure parmi les principaux investisseurs, comme le montrent les exemples d'Akkuyu (Rosatom), de Barakah (Kepco) et de Hinkley Point C (EDF). Dans le cas de Sizewell C, EDF a cependant déclaré qu'elle ne pourrait pas contribuer au financement de l'installation dans la même mesure que pour Hinkley Point, ce qui a amené le gouvernement britannique à élaborer un modèle légèrement différent afin d'attirer d'autres investisseurs.

De manière générale, l'État joue un rôle significatif en matière d'atténuation financière des risques. Il s'agit le plus souvent de la mise à disposition de fonds propres. Mais il peut aussi s'agir de garanties pour un financement externe. Il ressort de l'étude de l'AEN que les risques liés à la construction sont ceux qui présentent le degré de complexité le plus élevé et qui ont les impacts

Vue d'ensemble des huit cas étudiés



les plus forts sur les acteurs concernés. Ce sont les bailleurs de fonds propres qui y sont les plus exposés. «Les projets de construction récents montrent que les investisseurs privés sont difficiles à trouver et que l'engagement de l'État augmente», indiquent les auteurs. Les cas étudiés montrent néanmoins que les États essaient de créer des incitations à l'intention des investisseurs privés au travers d'une réglementation favorable à la construction, de garanties de crédit et d'avantages fiscaux.

Plus l'expérience augmente, plus les risques diminuent

Dans les huit cas étudiés, les pouvoirs publics ont fourni un soutien, soit en tant que bailleurs de fonds, soit en participant à la prise en charge des risques financiers. Les auteurs estiment néanmoins qu'à l'avenir, les projets

de construction devraient séduire davantage d'investisseurs privés, car l'expérience en matière de construction de réacteurs augmente et les chaînes d'approvisionnement gagnent en fiabilité. On sait que la construction du premier EPR d'Europe et des deux premiers AP1000 américains a souffert des lacunes en la matière. Il est donc essentiel, comme le souligne le rapport, de mettre en place des stratégies visant à limiter les dépassements de coûts et les retards.

Du souffle et une large assise sont des éléments indispensables

Les auteurs tirent les conclusions suivantes de l'analyse des huit cas:

- Le cadre financier d'un pays ne peut en aucun cas résoudre d'éventuels problèmes structurels issus du processus de planification. **Un engagement national**

à long terme en faveur du nucléaire et un processus de préparation rigoureux lors de la phase de planification sont indispensables. L'échec d'un projet de construction avant la décision finale d'investissement n'est pas forcément un problème de financement. Il est plus vraisemblable que la discussion sur le financement menée en amont a mis en évidence des problèmes structurels qui restent à résoudre.

- L'élément clé est de réduire au maximum les risques de dépassement budgétaire et de retards avant le début de la construction, en se concentrant en particulier sur les parties prenantes les mieux placées pour le faire, de manière à attirer des sources de financement supplémentaires et à réduire le coût du capital. Ces deux types de risques méritent la plus grande attention lors du choix du mécanisme de financement

le mieux adapté. **Les cas étudiés montrent néanmoins qu'il faut trouver un équilibre entre la capacité à atténuer ces risques avant la construction et la capacité à les absorber pendant la construction.**

- **Le principe directeur doit toujours être d'assurer la convergence des intérêts de toutes les parties prenantes.** «Le recours à l'énergie nucléaire nécessite une réflexion globale sur le financement, la sûreté, l'environnement et le contexte géopolitique, de sorte qu'il est essentiel d'impliquer dans le projet les différentes parties prenantes (État, autorités de surveillance, communautés locales et investisseurs) sur une longue période», écrivent les auteurs (*M.S./D.B. d'après OCDE/AEN, étude «Effective Frameworks and Strategies for Financing Nuclear New Build». AEN No. 7684, Paris 2024*)

Fraude alimentaire: mieux la détecter grâce à la technologie nucléaire

La fraude alimentaire touche avant tout les denrées alimentaires coûteuses comme le miel de manuka ou certaines sortes de café. Mais elle peut aussi viser des produits comme l'huile d'olive, avec à la clé de potentiels problèmes de santé chez les personnes allergiques. Afin de mieux la détecter, les scientifiques de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) soutiennent l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) par des programmes de recherche et de coopération.

Saviez-vous que les aliments présents dans votre cuisine ne répondent pas forcément aux exigences de qualité en vigueur, qu'ils n'ont peut-être pas été produits à l'endroit indiqué sur l'étiquette, ou que cette dernière ne reflète pas nécessairement leur composition réelle? Phénomène de plus en plus répandu, la fraude alimentaire s'étend au monde entier et nuit aux exportations. La Suisse n'y échappe pas. Pas plus tard que le 11 novembre, le «Blick» a d'ailleurs consacré un article au démantèlement d'un réseau international de fraude vinicole («La police suisse aide à démasquer des faussaires du vin»).

De nombreuses personnes privilégient les produits de certaines marques ou origines, car ils sont connus pour leur bonne qualité ou pour des propriétés particulières. Le miel de manuka, avec son effet antibactérien, en est un exemple. Bien des consommateurs n'hésitent pas à déboursier des sommes élevées pour de tels aliments, ce qui attire les contrefacteurs. L'AIEA a dressé la liste des méthodes de fraude les plus courantes: contrefaçon (imitation d'un nom de marque, d'un logo, d'une recette ou de techniques uniques), amélioration non autorisée (ajout de substances inconnues ou non déclarées), dilution (mélange avec un liquide de moindre qualité pour réduire les coûts de production), adultération (remplacement d'ingrédients de qualité par des ingrédients meilleur marché), dissimulation (d'ingrédients ou de produits de mauvaise qualité), et étiquetage trompeur (apposition de fausses informations sur l'emballage ou l'étiquette). L'organisation souligne que la fraude alimentaire – c'est-à-dire tout «acte intentionnel visant à tromper les consommateurs sur la qualité et le contenu de produits alimentaires dans un esprit de lucre» – ne porte pas seulement «préjudice au portemonnaie du consommateur et au commerce international, mais peut également mettre en péril la santé et la sécurité publiques».

Montant exact du préjudice inconnu, mais action urgente indispensable

«Il faut partir du principe que seule une petite partie des cas de fraude alimentaire est découverte. La plupart du temps, les consommateurs ne reçoivent aucune information sur la fraude alimentaire ou sont alertés bien trop tard, quand la fraude a déjà eu lieu», indique la Commission fédérale de la consommation (CFC) dans une recommandation d'avril 2021 sur la fraude domaine alimentaire en Suisse. «En tant que pays où la vie est chère, la Suisse est une cible de choix pour les fraudeurs», ajoute la CFC. Il n'existe cependant pas de chiffres précis pour notre pays. Comme l'écrivait le Tagesanzeiger en décembre 2022: «[...] l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) n'est pas en mesure de chiffrer l'ampleur de la fraude alimentaire et des dommages qui en résultent».



L'huile d'olive est l'un des aliments les plus touchés par la fraude alimentaire. (Photo: Shutterstock)

L'AIEA estime elle aussi qu'on peut difficilement chiffrer l'impact de la fraude, car celle-ci «se veut indétectable». L'organisation indique néanmoins que selon certains experts, ce phénomène ferait perdre 40 milliards de dollars par an (CHF 35 mia.) à l'industrie agroalimentaire mondiale. De plus, le risque de fraude alimentaire est difficile à atténuer, «car il est présent à chaque étape de la chaîne d'approvisionnement» et «certaines fraudes ne peuvent pas être détectées sans matériel spécialisé». Dans les pays en développement, «le problème est aggravé par le manque de moyens techniques».

Pour lutter contre la fraude touchant des aliments de qualité comme certains miels, le café et les spécialités de riz, l'AIEA a lancé en 2019, pour cinq ans, un programme de recherche regroupant des experts de 16 pays: Chine, Costa Rica, Danemark, Espagne, Inde, Indonésie, Italie, Jamaïque, Japon, Malaisie, Maroc, Myanmar, Nouvelle-Zélande, Slovénie, Thaïlande et Uruguay.

Mené en collaboration avec l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ce programme vise à améliorer l'application des techniques nucléaires et apparentées pour vérifier l'étiquetage alimentaire, lutter contre la fraude et protéger la santé publique. Concrètement, il s'agit de déterminer l'origine géographique des aliments, de vérifier leur authenticité et de détecter les contrefaçons au moyen, notamment, de la méthode dite de l'analyse des isotopes stables (voir p. 23).

Les cibles privilégiées des fraudeurs: miel, huile d'olive et fruits de mer

Selon l'AIEA, l'huile d'olive (appréciée pour ses effets bénéfiques sur le cœur), les fruits de mer (recherchés pour leurs acides gras essentiels de type oméga 3) et le miel (prisé pour sa douceur naturelle et ses effets bénéfiques sur la santé) comptent parmi les produits les plus touchés par la fraude alimentaire.

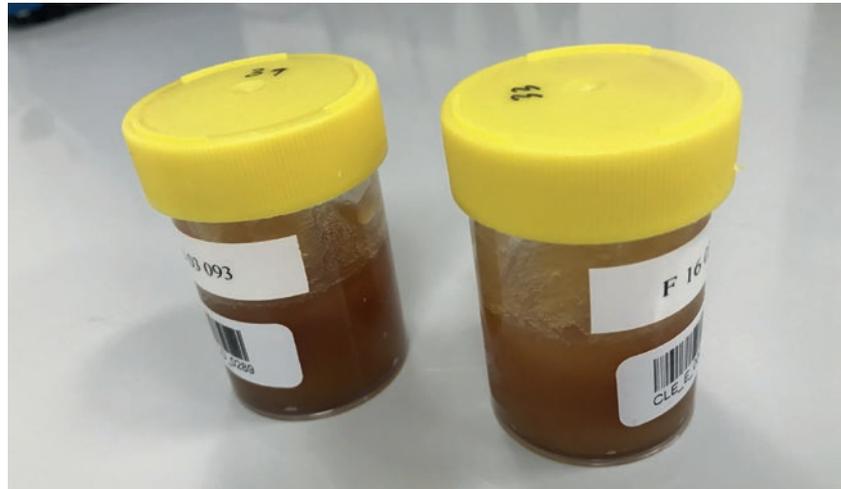


Le Costa Rica est l'un des pays qui a bénéficié du soutien de l'AIEA pour l'utilisation de techniques nucléaires d'analyse des aliments. On voit ici l'appareil d'analyse installé au laboratoire du National Animal Health Service (Lanaseve). (Photo: capture d'écran de la vidéo de l'AIEA «Food Safety: Costa Rica's Growing Export»)

Sur le pourtour méditerranéen, la bactérie *Xylella fastidiosa*, extrêmement agressive, décime les oliviers, entraînant de mauvaises récoltes et une hausse considérable du prix de l'huile d'olive. Les médias ont abondamment parlé des huiles d'olive allongée ou à l'étiquetage trompeur. «L'huile d'olive peut être coupée avec des huiles de substitution moins chères comme l'huile de tournesol, de colza ou même de noisette, ce qui présente un risque pour la santé des personnes allergiques», relève l'AIEA, précisant que cette pratique a aussi des conséquences sur la sécurité alimentaire, car l'huile frelatée peut contenir d'autres composants plus ou moins toxiques.

Toujours selon l'AIEA, la fraude sur le miel, également très répandue, consiste à ajouter à ce produit des édulcorants bon marché, comme du sirop de maïs à forte teneur en fructose. Les outils de dépistage rapide et l'analyse des isotopes stables aident à détecter les contrefaçons en contrôlant les allégations quant à l'origine botanique ou géographique du produit. On peut ainsi distinguer le vrai miel de manuka – dont le prix est élevé – des versions contrefaites. Le miel de manuka est produit par les abeilles mellifères à partir du nectar des fleurs du myrte des mers du Sud (arbre manuka), qui pousse dans les régions montagneuses de Nouvelle-Zélande et du sud-est de l'Australie. Ce miel est notamment utilisé pour favoriser la cicatrisation des plaies. Selon sa teneur en substances antimicrobiennes, il peut coûter jusqu'à 900 francs le kilo, ce qui en fait un produit très lucratif pour les fraudeurs.

S'agissant des poissons et des fruits de mer, une étude de la FAO parue en 2018 montre que l'étiquetage trompeur est fréquent: on vend une espèce de poisson ou de fruit de mer relativement bon marché sous le nom d'une variété plus chère. Cette pratique n'a pas seulement pour effet de duper les consommateurs: elle compromet également les efforts visant à protéger les populations piscicoles menacées par la surpêche. Ces dernières années, différentes mesures et évolutions en matière de lutte contre la fraude ont permis d'améliorer la transparence de la chaîne d'approvisionnement et la précision de l'étiquetage. L'analyse des isotopes stables, en particulier, est de plus en plus utilisée. Elle permet aux scientifiques de vérifier si les produits sont correctement éti-



L'analyse des isotopes stables permet de distinguer le miel de manuka authentique (verre de droite) des contrefaçons. Lancé en 2019, le projet de l'AIEA «Implementation of Nuclear Techniques for Authentication of Foods with High-Value Labelling Claims» aide les pays à utiliser la technologie nucléaire pour lutter contre la fraude touchant les aliments de haute valeur. (Photo: A. Cannavan / AIEA)

quetés et même de distinguer entre poissons d'élevage et poissons sauvages.

Parmi les autres cibles des contrefacteurs, on trouve les truffes blanches slovènes «tuber magnatum pico», vendues à plusieurs milliers d'euros le kilo, et certaines variétés de café comme le «Jamaica Blue Mountain», qui coûte plus de 100 francs le kilo. Mais des épices bon marché comme le paprika n'échappent pas nécessairement à la triche.

Le besoin de méthodes d'analyse se fait également sentir pour le riz hom mali (riz au jasmin) thaïlandais qui, selon l'AIEA, peut notamment être la cible d'étiquetage trompeur. Cette variété de riz à long grain de qualité supérieure, qui dégage une agréable odeur de jasmin à la cuisson, représente 13 à 18% des exportations de riz du pays. Elle est cultivée dans le nord et le nord-est de la Thaïlande, où les conditions climatiques et les propriétés du sol sont idéales. «Nous n'avons pas de laboratoire pour effectuer ce type d'analyse, déclarait en 2019 Wannee Srinuttrakul, chercheuse à l'Institut thaïlandais de technologie nucléaire, c'est pourquoi je voudrais apprendre à utiliser cette méthode». →

Les isotopes, une aide précieuse pour la détection des fraudes

L'AIEA a lancé en 2019 un projet pour aider les pays à utiliser l'analyse des isotopes stables. En quoi consiste cette technique? Chaque élément a une identité chimique définie par sa composition atomique, c'est-à-dire par les neutrons, protons et électrons dont il est constitué. On appelle «isotopes» les atomes qui ont le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons. Les isotopes stables ne sont pas radioactifs et peuvent être utilisés dans un large éventail d'applications, telles que la criminalistique alimentaire et la détection des fraudes alimentaires. Ils sont mesurés à l'aide de la spectrométrie de masse à rapport isotopique (IRMS, pour isotope-ratio mass spectrometry).

L'IRMS est utilisée pour mesurer le rapport isotopique, c'est-à-dire l'abondance relative des isotopes stables d'un élément chimique – tel que l'hydrogène, l'oxygène ou le carbone – dans un échantillon, de même que la concentration de tel ou tel élément dans ledit échantil-

lon. Elle permet de détecter des différences infimes dans le rapport entre les formes lourdes et les formes légères des isotopes. Les rapports isotopiques sont les «empreintes digitales» ou les signatures de la nature dans les aliments, explique l'AIEA. Par exemple, dans les truffes blanches slovènes évoquées plus haut, les rapports isotopiques ne sont pas les mêmes que dans des truffes bon marché importées d'Asie. Grâce aux preuves invisibles que constituent les rapports isotopiques, il est possible de déterminer si les aliments contiennent ou non les composants inscrits sur l'étiquette. Les incohérences par rapport aux signatures isotopiques attendues d'un produit sont les signes d'une contrefaçon. L'IRMS permet également de tirer des conclusions sur le processus de production et de distinguer les aliments biologiques des aliments conventionnels.

Il est en outre possible d'établir un lien entre l'empreinte digitale unique d'un échantillon et le lieu de culture de la plante, ce qui renseigne sur l'origine géographique de l'aliment examiné. Selon l'AIEA, il faut en principe dispo-

Informations complémentaires sur la situation en Suisse

On l'a vu, la Suisse n'est pas épargnée par la fraude alimentaire. Elle a notamment été touchée par le scandale alimentaire européen de 2013 concernant l'étiquetage frauduleux de barquettes de lasagnes, qui contenaient de la viande de cheval non déclarée en plus de la viande de bœuf mentionnée sur l'étiquette.

Entre juillet 2019 et novembre 2021, l'UE a mené, avec la participation de la Suisse, une campagne de contrôle des épices et des herbes aromatiques. Selon l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV), des incohérences ont été identifiées dans des échantillons provenant de notre pays.

En 2021, pas moins de trois interventions parlementaires visant à renforcer à la fois les contrôles et la coopération avec les autorités européennes ont été approuvées.

Toujours en 2021, de nombreux médias ont rapporté que des botanistes de l'Université de Bâle avaient développé une méthode permettant de déceler les indications d'origine frauduleuses. Il s'agit de l'analyse par la méthode des isotopes stables de l'oxygène mentionnée dans le texte. Pour éviter de devoir développer des bases de données de référence coûteuses, les chercheurs ont mis au point un modèle informatique qui permet de calculer le rapport isotopique de l'oxygène attendu dans une plante à l'aide de données météorologiques et d'informations sur sa période de croissance.

La spectrométrie de masse à rapport isotopique révèle les fraudes alimentaires

Isotope stable	Que peut-on déterminer?	Quels sont les types de fraudes identifiables?	Quels sont les aliments concernés?
Carbone	Photosynthèse (voie métabolique)	Adultération (remplacement par des ingrédients meilleur marché)	 miel liqueur vin huile d'olive beurre
Hydrogène	Précipitations locales et régionales, zone géographique	Dilution de boissons, origine du produit	 café liqueur vin eau sucre viande
Azote	Absorption d'engrais par les plantes	Étiquetage trompeur (biologique ou non)	 légumes viande
Oxygène	Précipitations locales et régionales, zone géographique	Dilution de boissons, origine du produit	 café liqueur vin eau sucre viande
Souffre	Type de sol local, proximité de la côte	Origine du produit	 légumes viande miel

La méthode de l'analyse par spectrométrie de masse à rapport isotopique (IRMS) permet de détecter en laboratoire différents types de fraudes alimentaires en fonction de l'isotope analysé. (Infographie: A. Vargas / AIEA)

ser pour cela d'une base de données contenant les valeurs de référence de produits authentiques avec lesquels l'échantillon peut être comparé. Néanmoins, des recherches récentes visent à prédire les signatures isotopiques à l'aide des données climatiques relatives à un lieu donné, afin d'éviter de devoir constituer de coûteuses bases de données de référence.

Outre la spectrométrie de masse à rapport isotopique, il existe également des méthodes de dépistage rapide pour les aliments. Par exemple, en Slovénie, l'AIEA a utilisé la spectroscopie infrarouge et d'autres techniques telles que la spectroscopie de mobilité ionique par chromatographie en phase gazeuse en espace de tête pour analyser des échantillons d'huile d'olive en laboratoire ou directement sur le terrain. (B.G./D.B. d'après l'article

de l'AIEA «IAEA Launches Project to Help Countries Fight Food Fraud» mis en ligne le 22 mai 2019; l'article «The Top Three Food Frauds and how Nuclear Scientists can Help Detect them», paru dans le Volume 65-2 du Bulletin de l'AIEA en septembre 2024; l'article «What Is Food Fraud, and How Can Nuclear Science Detect It?» mis en ligne le 19 août 2024, et d'autres sources)

Pour une réautorisation de la construction de centrales nucléaires



Peter Schilliger

Membre du Comité du Forum nucléaire suisse

La levée de l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires n'est rien d'autre que la condition sine qua non d'un réexamen non biaisé de notre politique énergétique.

Si le tournant énergétique pouvait réussir sans nouvelles centrales nucléaires, je n'aurais rien contre. Voilà un point qu'il me semble important de souligner en préambule. Si ce projet (qui vise à passer à un approvisionnement en électricité basé sur des sources respectueuses du climat autres que l'atome) était sur la bonne voie, je n'insisterais pas pour que l'on se remette à construire des centrales nucléaires. Et je dirais même plus: si j'étais convaincu du succès de la Stratégie énergétique 2050, je ne m'exprimerais probablement pas dans ces colonnes et je ne siégerais pas au Comité du Forum nucléaire.

Comme l'a expliqué le conseiller fédéral Albert Rösti lors de la conférence de presse consacrée à l'initiative «Stop au blackout» et au contre-projet du Conseil fédéral, les conditions-cadres ont changé fondamentalement depuis l'adoption de la Stratégie énergétique. Le changement le plus significatif est à mon avis l'objectif de zéro émission nette adopté par le Conseil fédéral en 2019, et que les électeurs ont inscrit dans la législation en disant oui à la «loi sur le climat et l'innovation». De ce fait, même les centrales au gaz, qui sont pourtant les centrales fossiles les moins émettrices de CO₂, cessent d'être une alternative viable au nucléaire, et entrent tout au plus en ligne de compte comme réserve de secours.

Les énergies fossiles et le zéro net s'excluent mutuellement

Pour atteindre l'objectif «zéro net», la Suisse doit couvrir la quasi-totalité de sa consommation énergétique de manière respectueuse du climat. Conjugué à la croissance de la population, cet impératif implique une montée en flèche des besoins en électricité. Au vu de la situation politique mondiale, il est à mon avis tout sauf garanti que nous puissions compter sur des partenaires étrangers pour couvrir ces besoins. De plus, l'électricité importée ne viendrait pas forcément de sources respectueuses du climat, ce qui mettrait en péril notre neutralité climatique. Tout cela m'amène à conclure que nous devons repenser la Stratégie énergétique.

Lorsqu'il devient évident qu'un projet est voué à l'échec, il faut réfléchir à des solutions de rechange. Et l'ouverture technologique est l'une des conditions fondamentales d'une recherche de solutions non biaisée. La levée

Peter Schilliger est entrepreneur et conseiller national PLR. Depuis 2024, il siège au Comité du Forum nucléaire suisse. Il s'investit également au sein de la Chambre des métiers de l'Union suisse des arts et métiers, et du Comité de l'Union patronale suisse.

de l'interdiction de construire des centrales nucléaires est le premier pas indispensable en ce sens, ni plus ni moins. Une telle levée ne signifie pas que nous allons bâtir une nouvelle centrale nucléaire le lundi suivant la votation, et elle ne signifie en aucun cas que nous allons cesser de développer les énergies renouvelables.

Plus d'analyse et moins d'idéologie

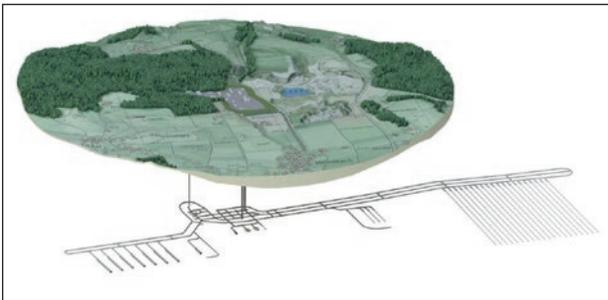
L'affirmation selon laquelle les énergies nucléaire et renouvelables s'excluent ou se bloquent mutuellement est propre au mouvement antinucléaire. Les mêmes milieux aiment à présenter l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires comme une décision irrévocable et sa levée comme une marque de «mépris de la volonté populaire» (citation tirée de la campagne des Verts). Je rappelle que depuis 1979, six initiatives populaires visant à abandonner l'atome ont été soumises aux

urnes. Elles ont été rejetées l'une après l'autre – ce qui n'a pas empêché les opposants de déposer à chaque fois de nouvelles initiatives. Revenir sur une décision populaire lorsque les fondamentaux ont changé n'a rien d'antidémocratique.

On prétend aussi qu'avec le contre-projet indirect, le conseiller fédéral Rösti veut faire passer l'abandon de la sortie du nucléaire en contournant la volonté du peuple. Mais ce contre-projet est sujet au référendum facultatif, comme n'importe quelle autre modification législative à l'échelon fédéral. Il suffit donc de 50 000 signatures pour que la levée de l'interdiction de construire de nouvelles installations nucléaires soit soumise au peuple. Et je suis curieux de connaître l'issue du scrutin. J'ose même prédire qu'il ne faudra pas six initiatives populaires pour que la sortie du nucléaire soit abandonnée. *(D.B.)*

En Suisse

La Nagra remet la demande d'autorisation générale pour un dépôt en couches géologiques profondes. Elle y indique que le site de **Nord des Lägern** est le mieux adapté pour accueillir un dépôt profond qui remplira les standards de sécurité les plus élevés et sur le long terme.



La Nagra pose les bases d'un débat précoce et solide sur le dépôt profond au moyen d'une information proactive. (Photo: Nagra)

Le **laboratoire chaud du Paul Scherrer Institut (PSI)** a fêté son 60^e anniversaire le 2 novembre 2024. Il sert la recherche appliquée sur les matériaux en analysant des échantillons hautement radioactifs de barres de combustible et de matériaux de structure provenant de centrales nucléaires, de réacteurs de recherche et des installations d'irradiation du PSI.



Les cellules chaudes du laboratoire chaud du PSI permettent de réaliser des analyses uniques en Suisse sur des matériaux hautement radioactifs. (Photo: PSI / Markus Fischer)

La start-up zurichoise **Deep Atomic** développe le MK60, un petit réacteur modulaire (SMR) qui vise à couvrir directement sur site, de manière écologique et durable, les besoins d'énergie et de refroidissement des centres de données modernes. Elle compte le fabriquer en série.

L'entreprise technologique **ABB** et le développeur suédois de petits réacteurs modulaires **Blykalla** ont signé une déclaration d'intention portant sur leur collaboration dans le cadre du développement d'une technologie avancée de réacteurs nucléaires, qui doit permettre de soutenir les efforts déployés par la Suède pour produire une charge de base propre et fiable.



Jacob Stedman, CEO de Blykalla, et Vibeke Gyllenram, responsable du développement commercial chez ABB Process Automation, signent une déclaration d'intention à Stockholm. (Photo: Blykalla)

De nombreuses organisations de la protection de la population se sont exercées à la gestion d'un accident dans la centrale nucléaire de Gösgen. Un premier bilan de **l'exercice général d'urgence 2024** s'avère positif.



L'accent a été mis sur la collaboration entre les services impliqués et la communication de crise en cas d'accident dans une centrale nucléaire. (Photo: OFPP)

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a publié le rapport **«Technology Monitoring of Nuclear Energy»** sur l'état actuel du développement de l'énergie nucléaire en Suisse et dans le monde. Le rapport offre un aperçu détaillé des avancées technologiques, des thèmes importants au plan de la sécurité, des aspects économiques et du cadre politique de l'énergie nucléaire.

À l'étranger

Le 6 octobre 2024, le **Kazakhstan** a organisé un référendum national portant sur la construction de la première centrale nucléaire du pays. D'après les résultats officiels, la population a approuvé le projet à 71%.

La France et les Pays-Bas ont signé une déclaration d'intention pour l'établissement d'une coopération bilatérale dans le domaine de l'énergie nucléaire. Elle ouvre «la porte à des efforts communs en matière de développement de nouvelles capacités nucléaires, de renforcement de la chaîne d'approvisionnement et de promotion de la branche aux Pays-Bas et dans le reste de l'Europe».



Sophie Hermans et Agnès Pannier-Runacher signent l'accord de collaboration bilatérale dans le domaine du nucléaire civil. (Photo: Agnès Pannier-Runacher via X)

Une étude du **Département américain de l'énergie** (DOE) montre comment le nucléaire avancé permettrait aux États-Unis de tripler leur capacité nucléaire d'ici à 2050. Les auteurs insistent sur la nécessité de poursuivre l'exploitation des centrales existantes et de recourir à de nouvelles technologies pour réduire les émissions de CO₂ et promouvoir la production d'électricité à faible coût.

La banque américaine d'Import-export (EXIM) a accordé un prêt de 98 millions d'euros à RoPower Nuclear S.A. Ce financement permettra de soutenir les services en amont du projet de développement d'un SMR sur le site de Doicesti en **Roumanie**.

Dans la province chinoise du Fujian, la construction de la tranche **Zhangzhou 4** a été lancée le 27 septembre 2024. Le site nucléaire de Zhangzhou accueillera au total six réacteurs de conception indigène Hualong-One.



Coulage du premier béton de la tranche Zhangzhou 4 du type Hualong-One. (Photo: Copie d'écran d'une vidéo de cnpn.cn, centrale nucléaire de Zhangzhou)

La National Energy Administration (NEA) chinoise a annoncé dans un communiqué de presse le 31 octobre 2024 que la première tranche nucléaire chinoise du type **CAP1400** (également baptisé Guohe One) de la génération III produisait désormais de l'électricité.



La première phase du projet de démonstration Guohe One, sur le site de Shidaowan, à Rongcheng, dans la province chinoise du Shandong, comprend deux réacteurs CAP1400. (Photo: National Nuclear Safety Administration)

Au Japon, Tohoku Electric Power a fait à nouveau diverger **le réacteur 2 de la centrale nucléaire d'Onagawa**. Il sera le treizième réacteur et le premier réacteur à eau bouillante à être remis en service depuis le séisme et le tsunami de mars 2011. →

La centrale à charbon de Cordemais restera en service jusqu'à ce que la France sorte du charbon, en 2027. **Une usine de préfabrication** de la tuyauterie du circuit secondaire principal des futurs réacteurs EPR2 y sera construite.

Le fournisseur d'énergie NextEra Energy, basé en Floride, étudie la possibilité de remettre en service la tranche nucléaire **Duane-Arnold 1**, située dans l'Iowa. Plusieurs clients issus du secteur des centres de données ont fait part de leur «vif intérêt» pour cette solution.



La tranche Duane-Arnold 1 pourrait être reconnectée au réseau en raison de la présence de centres de données à forte consommation d'énergie à proximité du site. (Photo: NextEra Energy)

Le Département américain de l'énergie (DOE) a sélectionné quatre entreprises pour fournir des services d'enrichissement d'uranium en vue de **la fabrication d'uranium faiblement enrichi** (High-assay low-enriched uranium, Haleu). Elles contribueront ainsi à l'approvisionnement indigène d'Haleu.

L'organisation de gestion des déchets suédoise, SKB, a obtenu les permis environnementaux pour la construction et l'exploitation du dépôt profond destiné aux assemblages combustibles usés de **Forsmark** et de l'installation de conditionnement d'**Oskarshamn**.

En vertu de l'accord conclu avec Westinghouse Electric, l'entreprise **Seaspan**, sise à North Vancouver, fabriquera des composants de réacteurs destinés aux AP1000 et aux AP300 de **Westinghouse Electric**.

Le développeur de réacteur **Terrestrial Energy** et l'entreprise gazière et pétrolière **Viaro Energy** ont signé une déclaration d'intention relative au développement d'un projet de réacteurs à sels fondus en Grande-Bretagne. Celui-ci permettra de fournir de l'énergie fiable et décarbonée aux industries à forte consommation d'énergie telles que les centres de données.



Représentation d'une centrale nucléaire de Terrestrial Energy composée de deux réacteurs à sels liquides IMSR400 d'une puissance thermique de 400 MW chacun. (Photo: Terrestrial Energy)

La Great British Nuclear (GBN) a achevé la phase de l'appel d'offres portant sur la sélection d'une technologie de petits réacteurs modulaires (SMR), et a ainsi choisi quatre technologies pour la phase suivante.



Illustrations des quatre conceptions de SMR encore en lice. (Photo: Compilation des illustrations de SMR des quatre soumissionnaires)

Rolls-Royce SMR Ltd. et l'énergéticien tchèque **ČEZ** ont signé un contrat de coopération. ČEZ achète 20% des parts dans Rolls-Royce SMR et conclut un partenariat stratégique. Les SMR du développeur britannique produiront jusqu'à 3000 MW d'électricité en République tchèque.

Le développeur de réacteur américain **Oklo** a obtenu l'autorisation de lancer les examens de site en vue de la construction de son microréacteur nommé Aurora Powerhouse à Idaho.



Vue du site privilégié pour construire le microréacteur Aurora Powerhouse d'Oklo, à Idaho. (Photo: Idaho National Laboratory)

La start-up **Blue Energy** a obtenu 45 millions de dollars pour développer un concept de centrale modulaire qui pourra être adapté à différents types de réacteurs. La fabrication des composants de la partie non-nucléaire sur des chantiers navals permettra de faire baisser sensiblement les coûts et la durée de la construction.



La start-up américaine Blue Energy souhaite développer une centrale modulaire qui fonctionnera avec des réacteurs différents. (Photo: Blue Energy)

Kairos Power a lancé la construction d'une nouvelle installation de production de sels fluorures sur son Manufacturing Development Campus d'Albuquerque. L'installation produira des sels fluorures liquides de grande pureté en tant que réfrigérant destiné aux réacteurs avancés de l'entreprise.

Keravan Energia, une entreprise de fourniture d'énergie finlandaise, et l'entreprise technologique **Steady Energy Oy** ont signé un accord portant sur la construction d'un SMR qui sera utilisé pour fournir de la chaleur à distance.



«La petite centrale de Steady Energy bénéficiera de toutes les autorisations et pourra être mise en service dans sept ans. Elle coûtera 100 millions d'euros», a déclaré Tommi Nyman, CEO de Steady Energy. (Photo: Timo Kauppila)

La start-up sur la fusion nucléaire **Marvel Fusion**, qui travaille sur une technologie de fusion destinée à la production d'électricité et basée sur des lasers, et la **Colorado State University (CSU)** construiront ensemble une installation laser à impulsions courtes dans le cadre d'un partenariat public-privé. (M.A./C.B./A.T.)

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.

Établir les bases industrielles pour la relance du nucléaire



Vakisasai Ramany

Vice-président en charge du développement de nouveaux projets nucléaires chez Électricité de France (EDF)

À l'heure de la transition vers un avenir bas carbone, le nucléaire se positionne de plus en plus comme une composante essentielle du mix énergétique. L'urgence à décarboner les économies mondiales, réaliser les objectifs de zéro émission nette et garantir la sécurité énergétique a placé cette source d'énergie au cœur des débats de politique énergétique. Pour Vakisasai Ramany, vice-président en charge du développement de nouveaux projets nucléaires chez EDF, il importe avant tout de disposer des capacités industrielles et des chaînes d'approvisionnement adéquates.

L'enjeu est de taille pour l'industrie nucléaire: nombre de pays ont en effet appelé à tripler les capacités de production mondiales d'ici à 2050. Cela implique non seulement de bâtir de nouveaux réacteurs, mais aussi de veiller à la disponibilité des infrastructures et de l'expertise nécessaires, ainsi que d'une chaîne d'approvisionnement suffisamment résiliente pour soutenir ces projets tout au long de leur cycle de vie. L'ampleur de cet enjeu ne doit pas être sous-estimée: la concrétisation d'une telle vision requiert des efforts coordonnés des industries, des gouvernements et des entreprises énergétiques en vue de l'exploitation des ressources et des capacités nécessaires.

Importance des chaînes d'approvisionnement robustes pour la réalisation de projets nucléaires

Industrie hautement complexe, le nucléaire mobilise des infrastructures et des matériaux spécifiques, et des compétences spécialisées. La réalisation d'un projet nucléaire dépend d'un grand nombre de paramètres, de la disponibilité d'un acier de haute qualité pour la cuve des réacteurs à celle de composants de précision pour les systèmes de sécurité. Sans chaînes d'approvisi-

ment robustes, le risque de retards et de dépassement des coûts augmente. Pour atténuer ces risques, il importe de garantir la visibilité à long terme et la confiance envers le marché. Pour ce faire, les gouvernements doivent témoigner de leur engagement en faveur du nucléaire, notamment en mettant en place des politiques et des mécanismes de financement clairs et cohérents. Les industriels, eux, doivent montrer qu'ils sont prêts à investir dans la mise à niveau et l'accroissement de leurs capacités.

Investir dans l'extension des capacités industrielles implique une certaine prise de risque. Le développement du secteur nucléaire passe par la création d'un cercle vertueux où les investissements initiaux renforcent la confiance envers le marché, ce qui permet en retour aux fournisseurs d'adapter leur production et d'améliorer leur expertise. C'est en faisant preuve d'audace – en investissant aujourd'hui pour garantir les capacités de demain – que nous pourrions jeter les bases industrielles de l'expansion du nucléaire.

SMR: un nouveau modèle de fabrication pour une meilleure efficacité

Pour ce qui concerne les petits réacteurs modulaires (SMR), il importe de réduire les délais de construction et de livraison, et d'encourager la production de modules hors site. Cela implique de mettre en place un écosystème sophistiqué où les processus de fabrication sont repensés pour être adaptés à l'approche modulaire. Les fabricants et les fournisseurs d'équipements devront mettre à jour leurs connaissances technologiques afin de créer une plateforme logistique solide à même de livrer différentes conceptions dans les décennies à venir. Quant aux usines, elles devront intégrer des technologies de pointe permettant la production en série des composants nécessaires, tout en garantissant un haut niveau de qualité et de sécurité. Ces transformations ne pourront se faire sans des investissements importants

dans les infrastructures de production. Pour appuyer ces investissements, l'industrie a une fois de plus besoin de visibilité: l'engagement des gouvernements sur le long terme, des processus réglementaires clairs et une solide réserve de projets.

La promotion de la coopération en vue d'harmoniser les objectifs réglementaires entre les pays peut accélérer les procédures d'autorisation, éviter la dispersion des efforts, réduire les coûts technologiques et contribuer à la diffusion des bonnes pratiques à l'échelle internationale.

L'Europe, qui héberge de nombreux projets nucléaires pionniers, doit montrer l'exemple en relevant ces défis industriels. Bien que mature, la chaîne d'approvisionnement nucléaire européenne n'est pas à l'abri de pressions. En plus de bâtir de nouveaux réacteurs et de



Vakisasai Ramany (au centre) a rédigé cet article à l'issue de discussions dans le cadre du Symposium nucléaire mondial, qui s'est tenu cette année à Londres en septembre. L'occasion pour les acteurs et spécialistes de l'industrie nucléaire, et les représentants de gouvernements d'échanger sur le rôle clé que l'énergie nucléaire peut jouer dans la transition vers un avenir propre et durable. (Photo: World Nuclear Association)

moderniser les parcs nucléaires existants, il nous faut renforcer le réseau de fournisseurs et de fabricants à travers le continent. Cela implique à la fois d'investir dans des projets d'infrastructure d'envergure et de soutenir les petits fournisseurs spécialisés, essentiels à l'écosystème nucléaire.

Protection et développement du secteur nucléaire européen

Le secteur nucléaire européen doit être protégé: des règles du jeu équitables sont notamment indispensables pour la survie à long terme de la chaîne d'approvisionne-

Vakiasai Ramany rejoint le groupe EDF en tant qu'ingénieur R&D en 1999 dans le contexte de la dérégulation du marché européen de l'énergie. Il y développe une solide expertise de la technico-économie du secteur électrique à travers divers postes à responsabilité dans les domaines de la gestion du mix de production, la gestion des risques de marché et l'administration de portefeuilles client. En 2008, il entre au bureau du CFO du groupe, où il est chargé d'accompagner la société dans le développement de ses activités à l'international. Il œuvre à des acquisitions majeures, en particulier celle de la flotte de centrales nucléaires de British Energy. En 2011, il rejoint la filiale britannique d'EDF à Londres en tant que M&A and Investments Director, fonction dans le cadre de laquelle il soutient les efforts du groupe pour honorer ses engagements vis-à-vis de la Commission européenne suite à l'acquisition de British Energy, initie la stratégie de refinancement d'EDF concernant les énergies renouvelables et contribue largement à sécuriser les fonds pour le projet de la centrale Hinkley Point C (3200 MW). Depuis 2015, Vakiasai Ramany est en charge des activités de développement de nouveaux projets nucléaires à l'international pour le groupe EDF, qui comprennent également l'établissement de coopérations stratégiques et l'exportation de technologies nucléaires.

ment européenne. Sans ces garanties, une concurrence déloyale pourrait saper la stabilité du marché et éroder les capacités essentielles au maintien de la réceptivité de l'industrie. Le fait de garantir que les fournisseurs européens puissent se mesurer à armes égales les uns avec les autres protégera l'intégrité de l'écosystème nucléaire et favorisera l'établissement d'une base industrielle durable pour l'appui aux projets futurs.

Pour répondre à l'enjeu d'extension des capacités, il nous faut aussi veiller à former la prochaine génération d'ingénieurs, de techniciens et d'ouvriers nucléaires. Les établissements d'enseignement européens comme les acteurs de l'industrie doivent renforcer les programmes de formation pour s'assurer que nous disposerons de la main-d'œuvre qualifiée pour construire, exploiter et entretenir le futur parc de centrales nucléaires. La confiance envers le marché est primordiale pour le succès de l'industrie nucléaire à l'échelle mondiale.

Nous devons enfin en finir avec les cycles d'expansion et de récession qui ont jusqu'ici affecté les projets nucléaires. En maintenant une solide réserve de projets et en envoyant des signaux clairs au marché, nous pouvons donner aux fournisseurs et aux fabricants la sécurité dont ils ont besoin pour investir dans le développement de leurs capacités. Notre secteur se trouve à un tournant décisif. Le chemin vers un avenir bas carbone passe par un engagement fort en faveur du nucléaire. Cet engagement doit être soutenu par des actions concrètes au niveau des capacités industrielles et de la réceptivité de la chaîne d'approvisionnement.

Article paru le 20 septembre 2024 sous le titre «Viewpoint: Building the industrial foundations for new nuclear growth», reproduit avec l'aimable autorisation de la World Nuclear Association. Intertitres, légende et traduction: Forum nucléaire suisse (A.T.).

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

La Fondation Suisse de l'Énergie et les signatures

En février 2024, la Fondation Suisse de l'Énergie (SES) reprochait au comité d'initiative «Stop au blackout» d'avoir usé de méthodes controversées et dépensé beaucoup d'argent pour récolter les signatures ayant permis à l'initiative en question d'aboutir. Selon la SES, le véritable objectif de «cette initiative rétrograde» serait de «freiner la Stratégie énergétique 2050 et de construire de nouvelles centrales nucléaires». Le communiqué de presse publié à l'époque par l'organisation faisait état de «signatures achetées» et relevait que le Club Énergie Suisse avait fait appel à une entreprise spécialisée dans la collecte de signatures. Cette pratique, même si elle n'est pas incontestée, est courante dans l'ensemble du spectre politique. Néanmoins, la SES estime que «le lobby nucléaire s'est acheté une initiative populaire pour retarder, voire empêcher, le tournant énergétique décidé et confirmé à plusieurs reprises».

Fin septembre, la SES a remis à la Chancellerie fédérale un appel contre la construction de nouvelles centrales nucléaires muni de 24 715 signatures. Par ce document, les adversaires de l'atome demandent «au Conseil fédéral et au Parlement d'annuler les projets de construction de nouvelles centrales nucléaires». Dans son communiqué de presse, la SES indique ouvertement qu'elle a collaboré avec le mouvement citoyen Campax pour la récolte des signatures en question. En d'autres termes, la SES a elle aussi fait appel à des professionnels pour collecter des signatures. Ce qui ne l'a pas empêchée de

manquer l'objectif de 25 000 signatures qu'elle s'était elle-même fixé. Il convient ici de rappeler que la validité des signatures est vérifiée pour les initiatives populaires mais pas pour de simples pétitions comme l'appel de la SES. Pour ces dernières, il n'y a pas d'exigences formelles en matière de signatures. La SES pratique donc le «deux poids deux mesures» selon qu'il s'agit de ses propres intérêts ou de ceux des partisans de l'atome.

En affirmant qu'une levée de l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires irait à l'encontre de la volonté populaire, la SES reprend l'argumentation de nombreux autres détracteurs de l'atome. Or, le peuple a pris la décision de sortir du nucléaire en 2017 dans le cadre d'une votation portant sur un projet aussi vaste que complexe. Et auparavant, il avait rejeté pas moins de six initiatives populaires visant à abandonner l'atome – ce qui n'avait pas empêché la SES et consorts de déposer systématiquement de nouvelles initiatives antinucléaires peu de temps après.

Ces acteurs pourraient bientôt avoir une nouvelle occasion de s'entraîner à la récolte de signatures. Il suffirait pour cela que l'initiative «Stop au blackout» soit retirée après les délibérations parlementaires sur le contre-projet. Ce dernier serait alors sujet au référendum facultatif qui, comme chacun sait, requiert 50 000 signatures dûment validées. (M.Re./D.B. d'après www.energiestiftung.ch, 29 octobre 2024)

Walter Rüegg nous apprend la peur

Jusqu'à quel point la peur de la radioactivité est-elle justifiée? N'y a-t-il rien que nous devrions craindre davantage? Et quel est le point commun entre le cadavre d'Hitler et l'eau du bain de Cléopâtre? Voilà quelques-unes des questions abordées par l'ancien chercheur nucléaire et physicien en chef de l'armée suisse dans un livre récemment publié.



L'ouvrage «Zeitalter der Ängste» de Walter Rüegg est disponible dans le commerce, par exemple chez Orell Füssli, à Ex Libris ou sur Amazon. ISBN 978-3-907339-66-4. (Photo: W. Rüegg)

Quiconque a déjà assisté à une conférence donnée par Walter Rüegg connaît peut-être l'anecdote qu'il aime à raconter à propos de son voyage à Tchernobyl. Selon lui, le plus grand risque sanitaire qui règne dans la région provient non pas de la radioactivité, mais de l'hospitalité de ses habitants, et de leur penchant pour la distillation maison de vodka.

Au-delà de la boutade, le message est des plus sérieux: dans ce siècle qui est celui de toutes les peurs, sommes-nous conscients des véritables dangers ou ne craignons-nous que des chimères?

Titulaire d'un doctorat en physique nucléaire, Walter Rüegg a longtemps travaillé dans la recherche nucléaire. Rien d'étonnant donc à ce que la radioactivité et les craintes souvent irrationnelles qu'elle suscite forment le thème central de son livre. M. Rüegg analyse en détail les accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima, la bombe atomique, le risque d'une guerre nucléaire, et la question des déchets radioactifs. Il se penche aussi sur la problématique des déchets chimiques et de ceux liés aux énergies renouvelables. Disons-le tout net: la comparaison avec les déchets nucléaires donne des résultats surprenants. Par ailleurs, certains passages du livre abordent des questions liées à la physique nucléaire, à la biologie moléculaire, à la génétique, à l'oncologie et à la psychologie.

Le texte est agrémenté de nombreuses images, caricatures, anecdotes et comparaisons, d'un peu d'histoire et d'une pointe d'humour. Il est néanmoins recommandé au lecteur critique de ne pas se laisser décourager par l'analogie avec les atomes du corps d'Hitler, aujourd'hui omniprésents. Cette comparaison est suivie d'une autre sur l'eau du bain de Cléopâtre, qui pour certains se révélera peut-être plus facile à partager. En 240 pages, l'ouvrage de Walter Rüegg intitulé «Zeitalter der Ängste», ce

que l'on pourrait traduire par «Le siècle de toutes les peurs», livre une multitude de pistes de réflexion et de réponses à la question de savoir de quoi nous devrions vraiment avoir peur – et ce qui ne devrait en aucun cas nous inquiéter.

À propos de l'auteur: Walter Rüegg est docteur en physique et s'intéresse de près à la médecine, à la radiologie et à la biologie moléculaire. Pendant 15 ans, il a fait de la recherche dans les domaines de la physique nucléaire, de la physique des particules, de la physique des corps solides et de la biophysique à l'EPF de Zurich et à l'Insti-

tut suisse de recherche nucléaire. Il a ensuite travaillé pendant 25 ans au sein du groupe ABB dans les domaines de l'électronique, des capteurs, de la technologie énergétique et de la physique appliquée, et il a été membre de l'état-major de recherche du groupe et responsable d'importantes activités de recherche internationales. En tant que physicien en chef de l'armée suisse pendant de nombreuses années, il s'est intéressé de près à tous les aspects de la radioactivité et des armes nucléaires. Aujourd'hui, il est consultant indépendant et publiciste amateur. Il n'est affilié à aucun parti politique. (M.Re./D.B.)

À noter: assemblée générale 2025 du Forum nucléaire suisse

Mercredi 14 mai à Zurich

Nouvel épisode de notre podcast «NucTalk»

Patrick Miazza est l'invité du 35^e épisode de notre podcast. Docteur en physique, il a dirigé la centrale nucléaire de Mühleberg durant dix ans et travaille aujourd'hui chez BKW en tant que consultant. Nous revenons avec lui sur la période où il a travaillé à la centrale nucléaire la plus controversée de Suisse et sur le démantèlement de celle-ci.

www.nuklearforum.ch/de/podcasts (en allemand)

Nouveau dossier multimédia

Nous avons publié notre nouveau dossier multimédia «Le nucléaire, une énergie entourée de mythes et de préjugés» sur notre site Internet.



Photo: KNFind / Pixabay

Le Forum nucléaire sur X

Le Forum nucléaire exploite son propre canal sur X (anciennement Twitter). Vous y trouverez toute l'actualité ainsi que les derniers podcasts. Des listes Twitter permettent d'accéder directement aux publications de la branche nucléaire dans le monde entier. Ainsi, vous trouverez dans la liste «Nuclear News» les posts des principaux portails d'information en langue anglaise. Les personnes qui possèdent un compte sur X peuvent s'abonner à ces listes en un clic.

https://x.com/forum_nucleaire

1^{re} Rencontre du Forum

Mardi 4 mars 2025

WiN Suisse souffle ses 30 bougies

Samedi 15 mars 2025 à l'hôtel Blume de Baden

<https://www.win-swiss.ch>

Apéritifs de la SOSIN 2025

L'apéritif de la SOSIN sera organisé les jeudis 23 janvier, 6 mars, 4 septembre et 13 novembre.

www.kernfachleute.ch



Photo: SOSIN / Max Brugger

40th Short Course on Multiphase Flows

Des cours sur le thème «Modelling and Computation of Multiphase Flows» auront à nouveau lieu à l'EPF de Zurich du 10 au 14 février 2025. Ces cours modulaires comprennent des séries bien coordonnées de conférences. Ils s'adressent aux ingénieures et ingénieurs et chercheuses et chercheurs qui aimeraient acquérir des connaissances fondamentales de pointe, des informations sur leurs applications nucléaires et sur les techniques modernes d'analyse des phénomènes multifluides, sur les techniques de calcul numérique appliquées.

<https://ns-ecmfl.ethz.ch/education/short-course-mpf.html>

Impressum

Rédaction:

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

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.

