

Juillet 2025

# BULLETIN 2



## Une nouvelle thérapie contre le cancer prometteuse

Page 5

## L'UE revoit sa politique énergétique

Page 2

## Assez d'uranium, mais pas assez d'investissements

Page 15

## L'intervenant à notre AG encourage l'ouverture technologique

Page 36

# Table des matières

## Éditorial

---

Un vent nouveau souffle sur l'Europe 1

## Entretien avec...

---

Bruxelles revoit sa position concernant l'énergie nucléaire 2

## Informations de fond

---

Une médecine nucléaire innovante en Suisse 5

L'avenir de l'énergie nucléaire en Suède 11

Livre rouge 2024: de l'uranium disponible en suffisance 15

Les techniques nucléaires au service de la criminalistique 20

## Décryptage

---

Les interdictions d'hier, des options pour demain 24

## Brèves nucléaires

---

En Suisse 27

À l'étranger 28

## La der nucléaire

---

La sécurité de l'approvisionnement électrique en Europe rattrapée par la réalité 31

## Couac!

---

La victoire à la Pyrrhus de Kaiseraugst 34

## Nouvelles internes

---

21<sup>e</sup> Assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse 35

La politique énergétique européenne et suisse vue par Christophe Grudler 36

Concours national Science et jeunesse: prix spécial du Forum nucléaire suisse 38

Journée des doctorants du Center for Nuclear Engineering and Sciences du PSI 39

## Pour mémoire

---

40

Page de couverture:

Le médicament radiopharmaceutique représenté ici est composé d'un isotope radioactif, le terbium 161, lié à une molécule de transport. Cette dernière reconnaît les protéines présentes sur la cellule tumorale, ce qui permet un traitement très ciblé du cancer. Les médicaments radiopharmaceutiques développés au PSI sont testés à l'hôpital universitaire de Bâle, en collaboration avec l'EPF de Zurich, sur des patients atteints d'un cancer de la prostate ou de tumeurs neuroendocrines.

(Photo: Ella Maru Studios, avec l'aimable autorisation du PSI)

## Un vent nouveau souffle sur l'Europe



**Benedikt Galliker**

Rédacteur scientifique  
au Forum nucléaire suisse

*Benedikt Galliker*

Un vent nouveau souffle sur l'Europe: celui de l'ouverture technologique et des débats politiques sur l'énergie. En mai dernier, les journaux allemands et suisses titraient «Le Danemark, champion du monde de l'éolien, bascule sur le nucléaire». De son côté, la Belgique prévoit de sortir de la sortie du nucléaire en construisant des réacteurs. Et en réponse aux pénuries d'approvisionnement, à l'instabilité du réseau et aux objectifs climatiques, de plus en plus de pays s'engagent dans des stratégies énergétiques nationales et misent sur le développement de l'énergie nucléaire. Au niveau de l'UE aussi, la pression s'accroît pour reconsidérer la position de longue date à l'encontre du nucléaire. Dans notre Bulletin, Nucleareurope, l'association de l'industrie nucléaire européenne, nous donne son point de vue concernant cette volte-face globale. Lors de notre Assemblée générale, notre invité, Christophe Grudler, fervent défenseur d'un tournant énergétique ouvert à toutes les technologies, a dressé un tableau des développements actuels de la politique énergétique de l'UE.

En Espagne, les politiques et la population s'interrogent sur le bien-fondé de la sortie prévue de l'atome. En effet, le black-out en Espagne et au Portugal fin avril a clairement accéléré les discussions sur la sécurité d'approvisionnement et la stabilité du réseau. L'expert en black-out et en prévention des crises, Herbert Saurugg, s'exprime sur cet événement. Et si cela ne suffisait pas: l'Italie revient dans le nucléaire avec des petits réacteurs modulaires. Concernant l'Allemagne, le nouveau Chancelier Friedrich Merz semble être davantage ouvert au nucléaire que son prédécesseur. Lors d'une visite en France, il s'est dit favorable à la neutralité technologique. Dommage cependant que Monsieur Merz ne croie plus en la remise en service des réacteurs allemands. Une plus grande ouverture technologique et une levée de l'interdiction de construire seraient aussi profitables à la Suisse. Notre expert Rainer Meier s'est exprimé à ce sujet. Nous montrons également de quelle manière la Suède organise son avenir énergétique à coup de nouveaux réacteurs et d'énergies renouvelables.

Pour nous, le Forum nucléaire suisse, ce vent nouveau est synonyme de nouvel engagement: avec le Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) et Novartis, nous encourageons le développement d'un écosystème fort en faveur des radiothérapies internes vectorisées – une stratégie prometteuse de la cancérologie moderne. Nous vous présentons l'état actuel de son déploiement en Suisse. Nous vous parlons également des techniques nucléaires utilisées pour résoudre les homicides et autres délits.

Bref: des sujets passionnants vous attendent dans ce nouveau Bulletin, et des développements majeurs sont à venir sur le marché de l'électricité.

Bonne lecture!

## Bruxelles revoit sa position concernant l'énergie nucléaire



**Jessica Johnson**

Director of Communications & Advocacy  
chez Nucleareurope



**Andrei Goicea**

Policy Director  
chez Nucleareurope

Longtemps marginalisée, l'énergie nucléaire revient au cœur des débats. Entre incertitude géopolitique, extension du réseau et crise climatique, la politique et l'industrie sont sommées de trouver des solutions. Une interview de l'association industrielle européenne Nucleareurope.

La politique énergétique européenne connaît des bouleversements importants. Dans un contexte de prix croissants de l'énergie, d'incertitudes géopolitiques et de crise climatique, le rôle de l'énergie nucléaire est réévalué. À Bruxelles, de plus en plus de voix s'élèvent afin que celle-ci soit reconsidérée dans les débats comme une source d'énergie fiable et décarbonée. Jessica Johnson, Director of Communications & Advocacy, et Andrei Goicea, Policy Director chez Nucleareurope, l'association de l'industrie nucléaire européenne, répondent aux questions du Forum nucléaire suisse concernant la situation des réflexions politiques, les obstacles réglementaires, l'importance des innovations technologiques et la nécessité de repenser la politique industrielle.

### Comment est prise en compte actuellement l'énergie nucléaire par la politique énergétique européenne?

**Jessica Johnson:** Ces dernières années, la politique énergétique européenne avait une préférence marquée pour les énergies renouvelables, en particulier pour l'éolien et le solaire. L'énergie nucléaire a souvent été mise entre parenthèses, voire exclue des discussions. Depuis deux ans, nous observons un changement lent, mais constant. Le Pacte pour une industrie propre publié récemment par la Commission européenne illustre parfaitement ce changement: sa formulation est bien plus ouverte à l'ensemble des technologies que les documents

stratégiques précédents. Cela reflète la réalité politique, à savoir que de plus en plus d'États membres, tels que la Grèce, la Roumanie ou encore la Suède, revoient leur position quant à l'énergie nucléaire. Le Danemark, traditionnellement critique à l'égard du nucléaire, mène désormais une discussion ouverte à son sujet. L'Allemagne et l'Autriche persistent quant à elles dans leur rejet du nucléaire, ce qui modifie considérablement les rapports de force sur la scène européenne.

### Quel rôle joue l'énergie nucléaire dans le cadre de l'objectif que s'est fixé l'UE d'atteindre la neutralité climatique à l'horizon 2050?

**Andrei Goicea:** Dans le cadre de son Pacte vert, l'UE s'est engagée à être le premier continent climatiquement neutre au monde. Une chose est claire: le secteur de l'électricité devra être le premier à être décarboné. Cela nécessitera non seulement un développement massif des énergies renouvelables mais aussi des technologies fiables et en mesure de couvrir la charge de base. L'énergie nucléaire peut jouer un rôle décisif ici, et pas seulement pour la production d'électricité: aussi pour la production de chaleur industrielle, d'hydrogène et de chaleur à distance. Parallèlement, elle permet de stabiliser la fréquence du réseau et contribue à la sécurité d'approvisionnement. Au regard du développement hésitant des énergies renouvelables dans certains pays, l'énergie nucléaire bénéficie d'un regain d'intérêt.

**Jessica Johnson:** La compétitivité industrielle connaît, elle aussi, une importance croissante. L'Europe fait face à une concurrence au niveau mondial, en particulier avec les États-Unis et la Chine. Les prix de l'énergie sont un facteur décisif ici. Si nous voulons rester attractifs en tant que place économique, nous devons proposer des sources d'énergie abordables, stables et propres, soit exactement ce que l'énergie nucléaire est en mesure d'offrir.

### Est-ce que des programmes d'encouragement européens soutiennent spécifiquement l'énergie nucléaire, ou est-ce que de tels programmes pourraient voir le jour dans le futur?

**Jessica Johnson:** Malheureusement, à ce jour, la plupart des fonds de l'UE – comme c'est le cas du Fonds pour une transition juste ou de l'InvestEU – excluent explicitement l'énergie nucléaire. Cette pratique repose sur des hypothèses surannées et sur une pression politique de la part de certains États membres. Mais malgré tout, les choses bougent: le nouveau Pacte pour une industrie propre et le Fonds pour la compétitivité, en projet, semblent ouvrir la porte à une reconsidération de l'énergie nucléaire. Autre signal positif: la décision de la Banque européenne d'investissement (BEI) de soutenir à hauteur de 400 millions d'euros un premier projet nucléaire, à savoir l'extension de l'usine d'enrichissement d'uranium d'Orano sur le site français du Tricastin. Cela laisse espérer d'autres projets, et montre une chose: il n'y a pas que le montant de l'encouragement qui entre en jeu, mais aussi le signal politique envoyé. Si l'UE déclare: «Nous soutenons cela», alors les investisseurs privés suivent.

### Comment percevez-vous l'argumentaire actuel des débats politiques et sociétaux sur l'énergie nucléaire?

**Jessica Johnson:** Les thèmes critiques actuels – la sécurité et le stockage final – perdent de l'importance. Et c'est normal: il existe aujourd'hui des solutions solides et scientifiquement fondées pour ces deux sujets. Et Bruxelles le sait. Les autres critiques concernent les coûts et les durées de construction des nouveaux projets. Oui, les derniers gros projets réalisés en Europe et aux États-Unis ont coûté au final plus chers et ont duré plus longtemps que prévu. Toutefois, nous devons diffé-

rencier ces débats: ces projets ont, pour beaucoup, été confrontés à une incertitude politique, à des chaînes d'approvisionnement interrompues, à un savoir-faire insuffisant et à des obstacles réglementaires. Or le fait de proposer des conditions-cadres stables nous permettra d'affronter ces problèmes.

**Andrei Goicea:** Et il ne faut oublier non plus que prendre en compte uniquement les coûts d'investissement est réducteur. Un réacteur qui fournit de l'énergie de manière fiable durant 60 ou 80 ans avec un facteur de capacité supérieur à 90%, est très intéressant économiquement, particulièrement en comparaison avec les énergies renouvelables, pour lesquelles il faut encore ajouter des coûts de systèmes élevés et des solutions de stockage.

**Jessica Johnson:** On note une remise en question aussi au sein de la branche des énergies renouvelables. Tandis que certains acteurs de l'industrie solaire continuent de rejeter l'énergie nucléaire, le secteur éolien reconnaît de plus en plus le fait que les deux technologies sont complémentaires, en particulier dans des objectifs de souveraineté énergétique et de sécurité d'approvisionnement.

### Comment jugez-vous les perspectives en Europe pour les nouvelles technologies de réacteur, notamment les SMR?

**Andrei Goicea:** Le développement des petits réacteurs modulaires (SMR) est indéniablement un des secteurs les plus passionnants actuellement. Ceux-ci offrent en effet de nombreux avantages: une fabrication standardisée, des durées d'autorisation plus courtes, et des coûts des capitaux par réacteur réduits. Toutefois, en Europe, les choses ne sont pas autant avancées qu'au Canada et aux États-Unis. Les premières conceptions, les premiers projets pilotes et des start-ups prometteuses commencent à voir le jour. Le fait que les autorités de régulation suivent le rythme des progrès technologiques et structurent de manière efficace les procédures d'autorisation sera déterminant.

**Jessica Johnson:** Dans un même temps, nous devons rester réalistes. De nombreux projets de SMR sont encore seulement en phase de développement précoce. Par ailleurs, les estimations de coûts varient fortement. Nous ne serons en mesure de tirer des conclusions fiables que lorsque les premières installations seront construites et en service. La mise en place de chaînes

d'approvisionnement et le recrutement d'un personnel spécialisé constituent des défis qui ne doivent pas être sous-estimés. Toutefois, le potentiel est colossal, en particulier pour les applications industrielles et les sites reculés.

### On entend beaucoup parler d'«une renaissance du nucléaire». Trouvez-vous cette expression adaptée?

**Andrei Goicea:** En réalité, il s'agit plutôt d'un «retour» au nucléaire. Le terme de «renaissance» était déjà utilisé avant Fukushima, mais il était alors resté à l'état d'annonce. Aujourd'hui, nous constatons des étapes politiques concrètes, par exemple l'élaboration de plans na-

tionaux pour l'énergie et le climat qui intègrent à nouveau l'énergie nucléaire. Mais nous avons besoin de davantage: un engagement actif en faveur de la technologie, une politique industrielle stratégique, et des investissements dans la formation et l'infrastructure.

**Jessica Johnson:** Le retour au nucléaire ne sera durable que si la politique et l'industrie travaillent main dans la main. L'industrie doit prouver qu'elle est capable de réaliser des projets de manière efficace et économique. Parallèlement, il faut que les systèmes de formation attirent à nouveau les jeunes vers les métiers techniques et que les pouvoirs publics offrent une sécurité de planification. Si tout est réuni, l'énergie nucléaire aura un avenir solide en Europe. (S.D./C.B.)

**Jessica Johnson** occupe le poste de Communications & Advocacy Director chez Nucleareurope depuis 2017. À ce titre, elle est responsable des stratégies de communication et de lobbying de l'association, coordonne la gestion des acteurs au niveau de l'UE, et gère les questions liées à la durabilité, en particulier sur les thèmes des finances, des matières premières, de l'utilisation de la surface, et de l'économie circulaire. Avant cela, elle a été responsable communication chez Cembureau, l'Association européenne du ciment, durant dix ans. Jessica Johnson est titulaire d'un Bachelor en espagnol et en italien obtenu à l'Université de Manchester, et d'un Master en interprétation de conférence.

**Andrei Goicea** est Policy Director chez Nucleareurope. Il a travaillé durant plus de 20 ans dans le secteur de l'énergie nucléaire. Il est spécialisé dans le pilotage et le soutien de projets nucléaires. Après avoir obtenu un diplôme en technique nucléaire à l'Université Politehnica de Bucarest en 2002, Andrei Goicea a obtenu un an plus tard un Master en Radioprotection et en Sécurité nucléaire. Il a notamment occupé les postes d'Executive Manager chez Nucleareurope, de chef de projet adjoint chez Slovenské Elektrárne, ainsi que chez SN Nuclearelectrica S.A. durant plus de dix ans.

## Une médecine nucléaire innovante en Suisse

Nous sommes tous concernés par le cancer, que cette maladie nous touche directement ou non. En médecine nucléaire, des méthodes de traitement innovantes telles que la thérapie par radioligands (Radioligand Therapy, RLT) ouvrent des perspectives nouvelles aux patients. Il s'agit de médicaments radioactifs qui détruisent les cellules tumorales. Tout un réseau d'acteurs s'emploie à développer cette méthode de traitement pour en faire l'un des six piliers de la médecine oncologique.

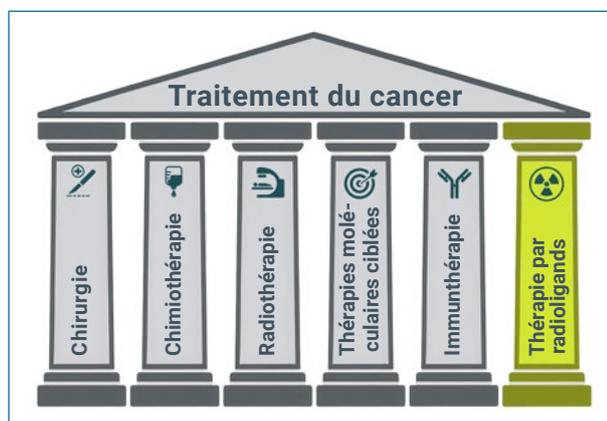
Selon la Ligue suisse contre le cancer, plus de 46'000 nouveaux cas de cancer sont détectés chaque année dans notre pays. Cela signifie que chaque jour, environ 125 personnes apprennent qu'elles ont un cancer. Quelque 450'000 personnes, soit 5% de la population, ont déjà reçu un diagnostic de cancer. Une femme sur neuf développera un cancer du sein au cours de sa vie, et un homme sur huit un cancer de la prostate. Nous sommes tous concernés par le cancer, que cette maladie nous touche directement ou non.

La médecine ne cesse de se développer afin d'offrir de nouvelles solutions et de nouvelles perspectives aux patients. En Suisse, un réseau regroupant chercheurs, cliniques et industrie est en train de se constituer afin d'améliorer encore les possibilités de traitement du cancer. L'entreprise pharmaceutique Novartis, entre autres, fait progresser les thérapies modernes en collaboration avec des hôpitaux et des instituts de recherche. L'une de ces nouvelles méthodes de traitement, la thérapie par radioligands (RLT)<sup>1</sup>, est en passe de devenir le sixième pilier du traitement du cancer, au même titre que la chirurgie, la chimiothérapie, la radiothérapie, les thérapies moléculaires ciblées et l'immunothérapie.

### Des médicaments radioactifs détectent et combattent les cellules cancéreuses

La RLT fait appel à des médicaments radioactifs appelés «médicaments radiopharmaceutiques» ou tout simplement «radiopharmaceutiques». Ces derniers se composent d'un élément radioactif, le radionucléide (isotope), qui est intégré dans une molécule de transport (le ligand), lequel «reconnaît» la tumeur et s'y lie, permettant

<sup>1</sup> La RLT est aussi appelée «radiothérapie métabolique» ou «radiothérapie interne vectorisée», «vectorisée» se référant à la molécule de transport ou «molécule vectrice».



En Suisse, la thérapie par radioligands est en passe de devenir le sixième pilier du traitement du cancer.

(Graphique: Forum nucléaire suisse, d'après une présentation de Novartis)

ainsi au radionucléide d'exercer de manière ciblée son effet thérapeutique lors de sa désintégration radioactive (c'est-à-dire de combattre les cellules cancéreuses par son rayonnement ionisant), tout en préservant autant que possible les cellules saines. Peuvent faire office de molécules de transport, des peptides, des anticorps ou de petites molécules, par exemple.

Les radiopharmaceutiques sont utilisés non seulement en thérapie, mais aussi à des fins diagnostiques. Ils permettent de voir l'intérieur du corps humain et de localiser les tumeurs et les métastases. Grâce à des molécules de transport adaptées, les radiopharmaceutiques employés à des fins diagnostiques se fixent eux aussi sur les tumeurs, où ils se désintègrent, ce qui permet de détecter ces dernières par tomographie par émission de positons (TEP, TEP scan ou, en anglais, PET scan). Les images TEP sont combinées à la tomodensitométrie (TDM) et appelées TEP/TDM. Alors que la TDM rend visibles les structures anatomiques (imagerie structu-

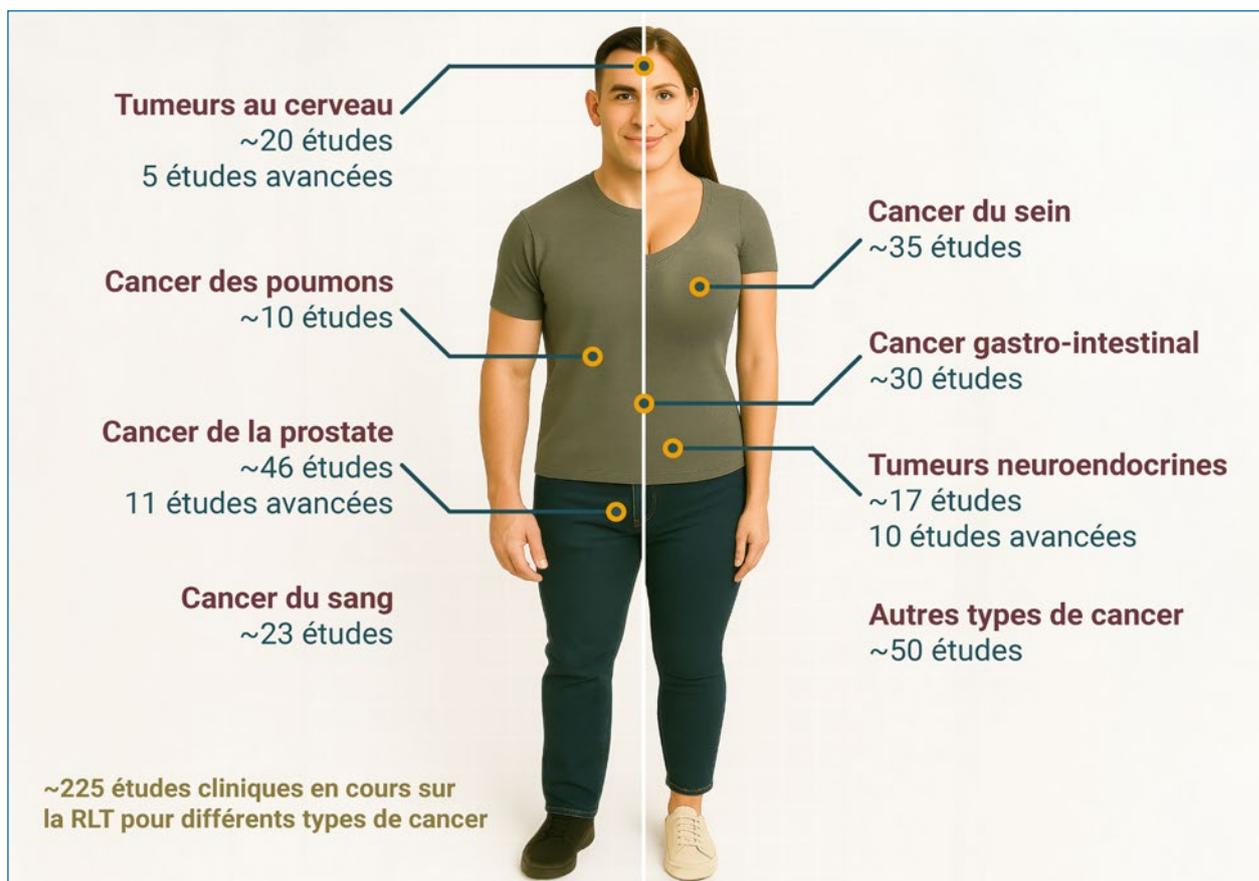
relle), la TEP met en évidence certaines activités métaboliques des organes et des tissus (imagerie fonctionnelle).

### La théranostique, un modèle novateur dans le traitement du cancer

La théranostique, mot-valise combinant «thérapie» et «diagnostique», désigne un concept innovant de la médecine nucléaire moderne, qui consiste à utiliser, pour le diagnostic et le traitement, des molécules de transport similaires ou identiques couplées à un radionucléide à visée diagnostique ou thérapeutique. Le même mécanisme biologique est ainsi utilisé pour détecter une tumeur, la visualiser et la traiter de manière ciblée. Le résultat du traitement est également contrôlé par imagerie. Selon le prof. Niklaus Schaefer, médecin-chef au Service

de médecine nucléaire et imagerie moléculaire du Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) à Lausanne, qui s'est ainsi exprimé lors d'une manifestation organisée par le Forum nucléaire suisse, «la théranostique est considérée comme l'une des approches les plus prometteuses de l'oncologie».

Le fonctionnement de la théranostique peut être expliqué en prenant l'exemple du cancer de la prostate, lors duquel la protéine PSMA (Prostate-Specific Membrane Antigen) est beaucoup plus présente à la surface des cellules tumorales que des cellules saines, de sorte qu'elle peut être utilisée pour détecter la tumeur. Pour le diagnostic, on peut utiliser un radiopharmaceutique contenant un ligand PSMA marqué par le radionucléide



Encore à l'étude, la thérapie par radioligands (RLT) est considérée comme une méthode de traitement prometteuse pour différents types de cancer, et de nombreux essais cliniques en sont à un stade avancé dans le monde entier. Cela laisse supposer que l'utilisation de la RLT chez les patients pourrait rapidement se généraliser. (Graphique: Forum nucléaire suisse d'après une présentation de Novartis; source des données issues de la vidéo (voir code QR), consultée le 28 avril 2025)



## Quelles sont les caractéristiques d'un «bon» radionucléide thérapeutique?

Beat Bitterli, docteur en chimie et responsable de la surveillance à la centrale nucléaire de Gösgen, est un spécialiste des radionucléides. Il résume comme suit les principales conditions que doit remplir un radionucléide thérapeutique destiné à la lutte contre le cancer: «Un tel radionucléide doit entraîner un dépôt d'énergie élevé dans une zone restreinte afin d'endommager suffisamment les cellules cancéreuses tout en affectant le moins possible les tissus sains. Il ne doit pas avoir une durée de vie trop longue afin d'éviter une exposition inutile aux rayonnements après le traitement. Mais il ne doit pas non plus avoir une durée de vie trop courte afin que son transport du lieu de fabrication au lieu d'utilisation, son administration et sa fixation à la cible restent garantis. Les aspects chimiques doivent également être au point: le radionucléide doit pouvoir être intégré dans la molécule de transport et présenter une stabilité suffisante pour se fixer à la bonne cible et y jouer son rôle de radiopharmaceutique. Cette multitude d'exigences ouvre de nombreuses possibilités pour la recherche. D'autres exigences s'ajoutent en fonction de la localisation et des caractéristiques du cancer. Plus l'énergie libérée par la désintégration radioactive atteint les cellules cancéreuses avec précision, moins il y a d'effets secondaires. C'est un avantage considérable par rapport à la radiothérapie externe ou à la chimiothérapie.»

diagnostique gallium 68 (Ga-68) ou fluor 18 (F-18). Ce radiopharmaceutique, une fois injecté dans la circulation sanguine du patient, s'accumule de manière ciblée dans les cellules tumorales positives à la PSMA. L'imagerie TEP/TDM permet ensuite de déterminer s'il y a des foyers tumoraux et où ils se trouvent.

Si une accumulation suffisante, synonyme de tissu tumoral, est détectée, on peut alors utiliser la même struc-

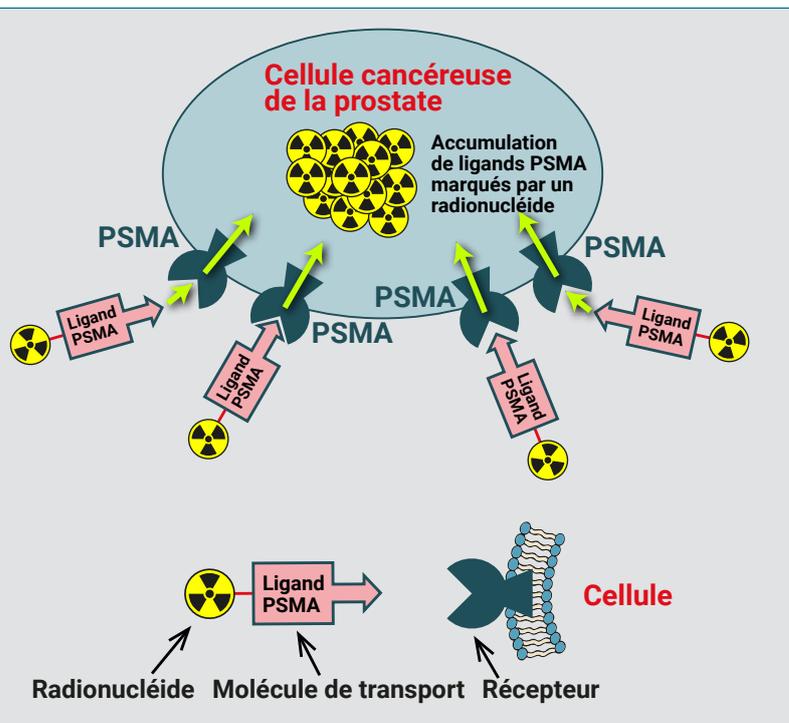


Le prof. Niklaus Schaefer, expert en oncologie et en médecine nucléaire au Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV), à Lausanne, est l'un des rares médecins de Suisse romande à proposer une thérapie innovante à base de radioligands pour lutter de manière ciblée contre le cancer de la prostate. (Photo: CHUV)

ture cible pour le traitement (voir l'image de la page 8). Cette fois-ci, le ligand PSMA est combiné à un radionucléide thérapeutique comme le lutétium 177 (Lu-177), qui émet presque exclusivement des électrons. Ce radiopharmaceutique est également injecté et se lie aux cellules tumorales, où les radionucléides émettent un rayonnement ionisant localisé, permettant de détruire les cellules cancéreuses de manière ciblée.

La thérapie PSMA avec le Lu-177 est déjà bien établie dans le traitement du cancer de la prostate, ainsi que dans celui des tumeurs neuroendocrines. La RLT n'est donc plus considérée aujourd'hui comme une thérapie de niche, mais comme un élément fondamental du traitement du cancer. Des essais cliniques pour des applications plus poussées de la RLT sont en cours dans de nombreux centres suisses, notamment au CHUV à Lausanne, à l'Hôpital universitaire de Zurich (USZ), aux Hôpitaux universitaires de Genève (HUG) et à l'Hôpital de l'Île, à Berne.

La recherche actuelle explore également de nouvelles pistes faisant appel à de nouveaux médicaments radiopharmaceutiques. Ainsi, le lutétium 177 FAP (Fibroblast Activated Protein), qui devrait être disponible dans un avenir proche, sera utilisé dans des études sur le cancer du sein. →



Lutte contre le cancer de la prostate à l'aide de la thérapie par radioligands: un radionucléide thérapeutique tel que le lutétium 177 est incorporé dans la molécule de transport ciblant l'antigène membranaire spécifique de la prostate (PSMA). Ce radiopharmaceutique est injecté dans la circulation sanguine du patient et atteint ainsi les cellules cancéreuses de la prostate. La surface de ces cellules comporte un nombre particulièrement élevé de récepteurs PSMA sur lesquels les ligands PSMA se fixent. Après avoir été transportés à l'intérieur de la cellule cancéreuse, ils s'y accumulent et l'irradient localement.

(Graphique et légende: Forum nucléaire suisse, d'après un modèle de l'Hôpital de l'île à Berne)

### Le grand potentiel des nouvelles thérapies

«Dans de nombreux pays, la demande en procédures de médecine nucléaire va dépasser les capacités actuelles des systèmes de santé». Tel est l'avis exprimé par Rüdiger Schenk, responsable des thérapies par radioligands chez Novartis, lors d'un événement organisé par le Forum nucléaire. Depuis 2022, l'industrie pharmaceutique connaît une forte croissance dans le domaine de la médecine nucléaire. La théranostique par radioligands, en particulier, est en plein essor, comme le montrent les prévisions du marché.

«L'industrie pharmaceutique considère la théranostique comme l'une des rares stratégies porteuses d'avenir

pour le traitement du cancer», indique le prof. Schaefer du CHUV, précisant que «la pharma investit massivement dans la thérapie par radionucléides». Roger Schibli, professeur à l'EPF de Zurich et responsable du Centre des sciences radiopharmaceutiques de l'Institut Paul Scherrer (PSI), à Würenlingen, estime même que l'atmosphère est euphorique. Mais le succès n'est pas garanti: «Les préparatifs doivent débiter dès maintenant si l'on veut que tous les patients atteints d'un cancer puissent bénéficier des innovations de la médecine nucléaire», prévient Rüdiger Schenk, de chez Novartis. Les experts s'attendent donc à ce que les branches concernées et la Suisse aient encore de très nombreux défis à relever.

### Des défis mondiaux

Des pays du monde entier, et en particulier d'Europe, souhaitent pouvoir recourir davantage à des thérapies anticancer innovantes comme la RLT. La Belgique, par exemple, a adopté une approche systématique afin de créer des conditions propices à l'intégration de la RLT dans la médecine oncologique. Des études ayant montré que la population, le corps médical et les milieux politiques ne sont pas encore assez sensibilisés aux avantages de cette thérapie, un plan d'action national pour la RLT y a été présenté en juin 2024. Ce dernier mise sur une approche intégrant toutes les parties prenantes afin de diffuser des informations adaptées aux différents publics cibles. Il fait donc appel à des spécialistes issus des hôpitaux, des instituts de recherche, des associations de patients, des autorités et de l'industrie.

De son côté, la Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI) américaine a lancé la Value Initiative (VI) afin de diffuser des informations ciblées sur les radiopharmaceutiques, l'imagerie moléculaire et la médecine nucléaire, et de promouvoir ces techniques. Elle entend ainsi sensibiliser la communauté médicale, et en particulier les oncologues qui prescrivent les traitements, aux possibilités et aux avantages des thérapies nucléaires.

### La situation en Suisse

Les mêmes défis, ainsi que bien d'autres, se posent à la Suisse. En automne 2024, un protocole d'accord a été conclu entre le CHUV (Service de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire), Novartis et le Forum nucléaire

suisse en vue de promouvoir la médecine nucléaire. L'objectif est d'améliorer le cadre réglementaire, de mieux faire connaître les thérapies offertes par la médecine nucléaire, et d'encourager la recherche et le perfectionnement professionnel. Il s'agit également de faciliter l'accès des patients à ces nouvelles approches thérapeutiques et de créer un écosystème propre à favoriser le développement de la RLT. «Pour que toutes les personnes concernées puissent bénéficier de cette médecine nucléaire novatrice, il faut que le système de santé, les institutions de traitement du cancer, l'industrie, les biotechnologies, les patients et les autorités de réglementation travaillent main dans la main», souligne Rüdiger Schenk de chez Novartis.

### Éliminer les obstacles structurels

Si l'on veut pouvoir faire face à l'augmentation prévisible du nombre de patients en théranostique, il est indispensable de lever les obstacles structurels. Les thérapies novatrices telles que la RLT, qui doit pour l'heure être administrée en milieu hospitalier, sont remboursées beaucoup plus tard aux hôpitaux suisses que les thérapies ambulatoires. Le délai d'attente peut atteindre plusieurs années. Pendant cette période, les hôpitaux subissent une perte financière, ce qui entraîne une inégalité d'accès à ces thérapies innovantes pour les patients suisses. De plus, il existe encore trop peu de chambres radio-protégées, pourtant indispensables à ces thérapies. Le manque de personnel qualifié dans les domaines de la médecine nucléaire, de la radiopharmacie, de la physique médicale et de la technique est aussi un facteur limitatif. Il faudrait entre autres davantage de radiopharmaciens pour mener des recherches sur les nouveaux médicaments contre le cancer. Le prof. Schibli souhaiterait par ailleurs qu'il y ait une collaboration plus étroite entre oncologie et médecine nucléaire, ainsi qu'un plus grand nombre d'«oncologues nucléaires» ou de «médecins nucléaires oncologues» spécialisés dans ces thérapies innovantes. Selon les trois experts – le prof. Schaefer et Schibli ainsi que Rüdiger Schenk –, des initiatives ont déjà été lancées pour remédier à cette pénurie de personnel qualifié. L'EPF de Zurich a notamment mis sur pied un CAS en radiopharmacie pour les professionnels souhaitant bifurquer vers ce domaine, et il existe un programme européen visant à assurer l'avenir du personnel spécialisé en médecine nucléaire.



Les médicaments radiopharmaceutiques sont fabriqués dans des salles blanches spécifiques, en respectant de «bonnes pratiques de fabrication» comme pour les médicaments classiques. Les salles blanches en question sont équipées de «cellules chaudes» blindées au plomb qui protègent contre le rayonnement ionisant. On voit ici la salle blanche du PSI. (Photo: PSI / Mahir Dzambegovic)

### Améliorer la disponibilité des radionucléides

La production et la mise à disposition à l'échelle mondiale de radionucléides adaptés à la théranostique sont encore limitées aujourd'hui, si bien que la disponibilité de ces substances doit être améliorée. Selon le prof. Schibli, la règle générale est la suivante: les radionucléides à visée diagnostique sont généralement produits dans des accélérateurs, tandis que ceux à visée thérapeutique le sont souvent dans des réacteurs. En Suisse, les radionucléides à visée diagnostique proviennent par exemple des petits accélérateurs (cyclotrons médicaux) de l'hôpital universitaire de Zurich, de l'hôpital de l'Île à Berne et de l'EPF de Zurich.

Il est relativement compliqué de se fournir en radionucléides à visée thérapeutique. Le prof. Schaefer décrit la chaîne d'approvisionnement comme «complexe, coûteuse et dans certains cas peu fiable». Bien souvent, les radionucléides thérapeutiques proviennent de réacteurs de recherche, lesquels sont très peu nombreux dans le monde et inexistantes en Suisse. Bon nombre de ces réacteurs sont anciens et régulièrement mis à l'arrêt pour travaux de maintenance. Le réacteur à haut flux (HFR) de Petten, aux Pays-Bas, sera d'ailleurs remplacé par le réacteur de recherche Pallas, en cours de construction

sur le même site. Le Lu-177 utilisé en RLT provient par exemple des Pays-Bas, de Belgique, du Canada et du Proche-Orient. La Suisse importe également du Pb-212 de France, et de l'Ac-225 des États-Unis, du Canada et d'Allemagne pour la thérapie alpha ciblée (TAT), qui compte parmi les thérapies par radioligands.

En 2025, le PSI lancera la mise à niveau IMPACT (Isotope and Muon Production with Advanced Cyclotron and Target Technologies) de son accélérateur de protons HIPA. Il s'agira notamment d'adjoindre à ce dernier l'installation TATTOOS (Targeted Alpha Tumor Therapy and Other Oncological Solutions), pour produire de nouveaux radionucléides et de nouveaux radiopharmaceutiques destinés au diagnostic et à la thérapie du cancer. À noter que le PSI est un partenaire central du réseau européen PRISMAP (The European Medical Radionuclide Programme) pour les radionucléides médicaux innovants. La Suisse apporte ainsi une contribution importante au développement de la médecine nucléaire en Europe.

Pour l'heure, les radionucléides utilisés en clinique (principalement le Lu-177) sont produits également dans des centrales nucléaires situées aux Pays-Bas, au Canada et en Israël. Compte tenu de la fragilité des chaînes d'approvisionnement, le prof. Schibli souhaiterait qu'ils

puissent également être produits dans les centrales nucléaires suisses. Beat Bitterli, de la centrale nucléaire de Gösgen, confirme la faisabilité théorique de la production de Lu-177 dans ces dernières, tout en précisant que «les exigences sécuritaires relatives aux systèmes de prélèvement sont extrêmement élevées, ce qui rend le tout complexe et coûteux».

### Adapter la réglementation

Les prescriptions réglementaires et les exigences élevées en matière de qualité et de sûreté complexifient la fabrication, la manipulation et la distribution des médicaments radiopharmaceutiques ainsi que la gestion des déchets qui en résultent. Selon Rüdiger Schenk, les exigences en matière de radioprotection pour les traitements par le Lu-177 PSMA varient grandement d'un pays à l'autre. Alors qu'en Australie, au Canada et aux États-Unis, ces traitements sont effectués en ambulatoire avec une hospitalisation d'une à quatre heures seulement, en Suisse et en Allemagne, une hospitalisation d'au moins deux jours est obligatoire, ce qui entraîne des goulets d'étranglement et empêche la prise en charge rapide de tous les patients RLT.

### En Suisse, l'écosystème de la thérapie par radioligands est en développement constant

Selon le professeur Schaefer, tous ces défis offrent toutefois aussi des opportunités: la collaboration, étroite et indispensable, entre les organisations œuvrant dans le domaine de la RLT ainsi que la mise en commun des compétences issues des centres de recherche (PSI, CERN, p. ex.), de l'industrie (Novartis, p. ex.) et des hôpitaux (CHUV, hôpital universitaire de Zurich, p. ex.) génèrent un écosystème robuste qui est en développement constant. Ce réseau favorise l'innovation, améliore la qualité et l'efficacité des traitements et renforce les échanges internationaux. Cela profite à la prise en charge et au traitement des patients, qui peuvent ainsi bénéficier de thérapies de haute qualité. (B.G./D.B. d'après un entretien avec Beat Bitterli, responsable de la surveillance à la centrale nucléaire de Gösgen, un podcast NucTalk avec Roger Schibli, professeur à l'EPF de Zurich et directeur du Centre des sciences radiopharmaceutiques du PSI, ainsi que des exposés du prof. Niklaus Schaefer, médecin-chef au Service de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire du CHUV, et de Rüdiger Schenk, responsable des thérapies par radioligands chez Novartis)



Production du radionucléide Lutetium 177 dans la tranche 7 de la centrale nucléaire canadienne de Bruce, un réacteur à eau lourde de type Candu. Pendant le fonctionnement de ce dernier, un employé introduit une cible dans le système de production d'isotopes (IPS) afin d'irradier de l'ytterbium 176 dans le cœur du réacteur et d'obtenir du lutétium 177. (Photo: Bruce Power)

# L'avenir de l'énergie nucléaire en Suède

**Après plusieurs changements de gouvernement, un retour au nucléaire se dessine en Suède. Le gouvernement minoritaire actuel, composé du Parti modéré de rassemblement, des chrétiens-démocrates et des libéraux, s'emploie à promouvoir le développement de cette technologie.**

Dans le premier volet de cet article (Bulletin 1/2025), nous avons retracé l'histoire mouvementée de l'énergie nucléaire en Suède jusqu'à aujourd'hui. Alors qu'à la fin des années 1980, la moitié de l'électricité produite dans le pays était d'origine nucléaire, cette proportion est passée, bien que de peu, au-dessous de la barre des 30% en 2023. Ce recul est la conséquence de la décision prise en 1980, après un référendum consultatif organisé pendant la montée en puissance du mouvement antinucléaire, d'abandonner l'atome au plus tard en 2010. Mais en 2010, le gouvernement conservateur au pouvoir a fait volte-face et autorisé, bien que dans une mesure limitée, la construction de centrales nucléaires de remplacement.

Il a toutefois fallu attendre fin 2022 pour voir apparaître des projets concrets de développement de l'énergie nucléaire en Suède. Ceux-ci émanent du gouvernement Kristersson, qui mise, en étroite collaboration avec les entreprises d'approvisionnement en énergie, sur la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires existantes ainsi que sur la construction de nouveaux réacteurs de grande puissance et de petits réacteurs modulaires (SMR). L'énergie nucléaire doit contribuer à ce que le pays puisse faire face au doublement prévu de ses besoins en électricité (qui devraient passer à 300 TWh environ à l'horizon 2040), tout en atteignant la neutralité carbone d'ici à 2045. En novembre 2023, le Parlement a approuvé un projet de loi assorti d'une feuille de route pour le développement de l'énergie nucléaire («Nouvelle énergie nucléaire pour la Suède: une première étape»). Le gouvernement et les entreprises d'approvisionnement en énergie s'emploient désormais à créer les meilleures conditions possibles pour la mise en œuvre de la feuille de route tout en réduisant au maximum les risques. Dans ce deuxième volet de l'article consacré à la Suède, nous vous présentons les mesures concrètes qui sont en cours de mise en œuvre.

## À Ringhals, la construction de trois à cinq SMR est à l'étude

En juin 2022, Vattenfall annonce le lancement d'une étude préliminaire «sur les conditions préalables à la construction d'au moins deux petits réacteurs modulaires (SMR) près de la centrale nucléaire de Ringhals, dans le sud de la Suède». Selon un communiqué de presse de l'énergéticien, cette étude a pour but de déterminer si les conditions commerciales, juridiques et techniques nécessaires à la construction d'au moins deux SMR à Ringhals, sur la presqu'île de Värö, sont remplies. À l'été 2023, l'entreprise lance un appel d'offres pour la construction de SMR sur ce site et entame des discussions avec des fournisseurs potentiels. Fin 2023, elle achève l'étude de faisabilité lancée en 2022. Elle en présente les conclusions en février 2024: Ringhals se prête à la construction de trois à cinq SMR d'une puissance totale de 1500 MW<sub>e</sub>.

En juin 2024, Vattenfall annonce que le Britannique Rolls-Royce SMR et l'américain GE Vernova Hitachi Nuclear Energy (GVH) ont été présélectionnés parmi six fournisseurs pour la construction éventuelle de SMR à Ringhals, et que leurs réacteurs et propositions sont en cours d'analyse. «Nous n'avons pas encore décidé si nous voulons construire deux grands réacteurs ou trois à cinq SMR. Notre objectif est de mettre en service un premier réacteur d'ici à 2035», indique Vattenfall en réponse à une question posée par le Forum nucléaire. Rolls-Royce SMR a été choisie en juin 2025 par Great British Nuclear en tant qu'entreprise privilégiée pour développer des SMR en Grande-Bretagne. En cas d'achat de grands réacteurs, les fournisseurs qui entreraient en ligne de compte pour Vattenfall sont l'Américain Westinghouse Electric et Électricité de France (EDF), puisque Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) s'est retiré de la procédure.

Pour Vattenfall, les réacteurs de grande puissance et les SMR présentent chacun des avantages et des inconvénients. «Bien que leur durée de construction soit plus

longue, de gros réacteurs nous permettraient de mettre sur le marché une grande quantité d'électricité en relativement peu de temps». Mais si l'on construisait plusieurs SMR à la place, cela apporterait davantage de flexibilité. «Les SMR sont associés à des risques financiers plus faibles et ils nous permettraient d'accroître (par petites étapes) la puissance disponible», indique Vattenfall.

Afin de discuter des calendriers et des budgets, la direction de Vattenfall et l'équipe de projet compétente se sont rendues dans plusieurs pays exploitant des centrales nucléaires, notamment en Finlande, en France, au Canada, en République tchèque et aux États-Unis. Bilan: «L'une des conclusions de ces visites est que la construction de nouveaux réacteurs doit être planifiée de manière aussi approfondie que possible avant le début des travaux proprement dits, afin d'éviter les retards dus à l'ajout de spécifications et à la modification d'exigences.» Il existe une vidéo YouTube portant notam-

ment sur les visites effectuées par Desirée Comstedt, responsable de la division New nuclear power chez Vattenfall, et sur les enseignements qui en ont été tirés (voir le code QR).

### Construction d'une installation test pour SMR à proximité de la centrale nucléaire d'Oskarshamn

L'entreprise Blykalla (anciennement Lead Cold), un développeur suédois de SMR de génération IV refroidis au plomb liquide, travaille sur le Swedish Advanced Lead-cooled Reactor (Sealer). Depuis février 2025, elle construit une installation non nucléaire d'essai de réacteurs, qui accueillera le Sealer-E, un prototype de réacteur de 2,5 MW<sub>th</sub> alimenté à l'électricité, sur le site d'Oskarshamn, sur la presqu'île de Simpevarp, à environ 340 km au sud de Stockholm. La première phase de la construction devrait être achevée d'ici à l'été 2025 et les tests débiteront au troisième trimestre 2025. Prévus pour une durée de cinq ans, ils doivent permettre à Blykalla de valider certains des composants et systèmes de sûreté critiques de ses SMR.

Le projet est mené en collaboration avec les énergéticiens Uniper (dont le siège social se trouve en Allemagne) et OKG AB (exploitant d'Oskarshamn), ainsi qu'avec le Royal Institute of Technology (KTH), le partenaire de construction NCC et l'entreprise technologique helvético-suédoise ABB. L'Agence suédoise de l'énergie lui a accordé une subvention de 99 millions de couronnes suédoises (CHF 8,7 mio.).

Lors d'une étape ultérieure, Blykalla souhaite construire le réacteur nucléaire de recherche et de démonstration Sealer-One et l'infrastructure de fabrication du combustible associée. Le site pressenti est le parc technologique de Studsvik, à une centaine de kilomètres au sud de Stockholm.

### Modèle de financement pour les nouvelles centrales nucléaires suédoises

«Que nous options pour de petits réacteurs modulaires ou pour de gros réacteurs, une future décision d'investissement nécessitera entre autres un modèle raisonnable de partage des risques avec l'État. Un tel modèle est nécessaire pour réduire les coûts de financement et



Début septembre 2023, Anna Borg, présidente et CEO de Vattenfall, s'est rendue au Canada avec des membres de la direction du groupe pour rencontrer des développeurs de technologies nucléaires, des fournisseurs d'énergie et des autorités, et approfondir ses connaissances en vue de la construction éventuelle de nouvelles centrales nucléaires en Suède. (Photo: compte LinkedIn d'Anna Borg)



Avant de pouvoir lancer la construction d'une première centrale nucléaire, Vattenfall doit prendre une décision d'investissement. «Si nous respectons le calendrier actuel, celle-ci tombera à l'horizon 2029/2030», a indiqué Desirée Comstedt, responsable de la division New nuclear power chez Vattenfall, au quotidien Svenska Dagbladet en février 2025. (Photo: Vattenfall)

permettre ainsi une production d'électricité à un prix abordable pour les clients», a déclaré Desirée Comstedt lors de l'annonce des fournisseurs potentiels de SMR et de grands réacteurs faite à Ringhals en juin 2024. Elle a ainsi donné un aperçu des travaux déjà en cours, car selon Vattenfall, les coûts d'investissement liés aux nouveaux réacteurs représentent un défi, même pour les grandes entreprises énergétiques.

M<sup>me</sup> Comstedt estime qu'il devrait être possible de mettre en service un premier réacteur d'ici à 2035, mais souligne que Vattenfall «doit s'assurer que nous disposons des bonnes informations avant de commencer la construction». À cet effet, le gouvernement suédois a chargé en décembre 2023 un groupe d'experts de réaliser une étude sur les modèles de financement et de partage des risques applicables à la construction de centrales nucléaires. Ce groupe d'expert avait pour mission d'analyser les modèles déjà mis en œuvre en Europe qui sont compatibles avec les règles de l'UE en matière d'aides étatiques et de concurrence. Il a publié son rapport en août 2024, en y adjoignant un certain nombre de propositions. Selon lui, rien ne garantit que le développe-

ment de l'éolien en Suède permette d'atteindre les objectifs de la politique énergétique ni que les coûts d'un système électrique fortement dépendant des conditions météorologiques soient supportables. D'où la nécessité de centrales nucléaires offrant une valeur ajoutée en termes de sécurité d'approvisionnement et de stabilité des prix, et permettant de réduire les coûts d'exploitation et de développement du réseau. Le groupe d'experts estime qu'en raison des nombreux avantages de l'atome, il est justifié que l'État soutienne les investissements dans de nouvelles centrales nucléaires. Selon Vattenfall, le soutien de l'opinion publique aux nouvelles centrales nucléaires continue de croître, même si les hommes sont généralement plus favorables à l'atome que les femmes.

Le groupe d'experts recommande d'adopter un modèle de financement et de partage des risques propre à couvrir les principaux risques liés au projet de construction de quatre réacteurs en Suède. Il estime qu'un tel modèle permettra de réduire les coûts de capital et donc de réaliser de nouveaux investissements dans l'énergie nucléaire à moindres frais. Par la suite, en raison des économies d'échelle et de la diminution des risques, la construction de nouveaux réacteurs ne nécessitera plus aucun soutien de l'État. Le modèle de financement et de partage des risques en question prévoit trois composantes principales: des prêts de l'État d'un montant d'au moins 300 milliards de couronnes suédoises (près de CHF 23 mia.) pour financer les investissements dans de nouvelles centrales nucléaires, un contrat d'écart compensatoire (Contract for difference, CfD) à conclure entre l'État et l'exploitant, et un mécanisme de partage des risques et des bénéfices qui offre aux investisseurs un rendement minimum sur leurs fonds propres. Les aides étatiques doivent être accordées dans le cadre d'une procédure idoine, basée sur une nouvelle loi définissant les modalités précises de leur octroi (voir encadré page 14).

Pour faire avancer le projet de centrale nucléaire de Ringhals, Vattenfall a annoncé le 16 avril 2025 la création d'une société de projet, Videberg Kraft AB. «Vattenfall voit d'un bon œil la proposition gouvernementale de partage des risques liés aux investissements dans de nouvelles centrales nucléaires et prévoit de déposer une

demande à l'automne. Nous sommes en train de créer la société de projet requise pour cette demande d'aide publique, et nous employons à définir précisément son rôle et ses responsabilités», a indiqué Desirée Comstedt. Videberg Kraft sera propriétaire du projet, et Vattenfall continuera de mener les travaux de développement. En parallèle, des discussions approfondies seront menées avec le groupe industriel suédois Industrikraft dans la perspective d'une éventuelle prise de participation de l'industrie dans la nouvelle société de projet (copropriété).

### La construction du dépôt en profondeur pour assemblages combustibles usés a déjà débuté

La production d'électricité nucléaire génère des déchets qui doivent être gérés de manière consciencieuse et sûre. Pour ce faire, plus de 20 pays misent sur le stockage en couches géologiques profondes et ont lancé des programmes en ce sens. La Finlande, pays le plus avancé en la matière, mettra en service son dépôt en profondeur dans un an environ. La Suède a lancé la construction de

son propre dépôt le 15 janvier 2025 sur le site de Södeviken, près de Forsmark, sur la côte est du pays. Il devrait être mis en service en 2035, en même temps qu'une installation de conditionnement située à Oskarshamn.

Vattenfall souligne que le site de stockage de Södeviken ne recevra que les déchets provenant des réacteurs en service ou déjà mis à l'arrêt. Selon toute vraisemblance, un deuxième dépôt en couches géologiques profondes sera nécessaire pour les assemblages combustibles usés provenant des nouveaux réacteurs. Il reste encore à trouver un site approprié. «Celui-ci pourrait éventuellement se situer dans les communes de Forsmark ou d'Oskarshamn. Elles s'étaient toutes deux dites intéressées par l'idée d'accueillir le dépôt définitif des assemblages combustibles usés provenant des réacteurs existants», a déclaré Vattenfall. (B.G./D.B. d'après Vattenfall, sur la base de communiqués de presse, d'échanges avec le responsable de presse Markus Fischer et du site web de l'entreprise)

## Prêts de l'État proposés pour la construction de quatre réacteurs nucléaires

Le 27 mars 2025, le gouvernement suédois a présenté au Parlement son projet de loi sur les aides publiques pour les investissements dans de nouvelles centrales nucléaires. Le montant exact du prêt sera annoncé à l'automne 2025 dans le cadre du projet de budget.

Les aides publiques sont limitées aux coûts de financement d'un projet de construction d'une puissance installée de 5000 MW<sub>e</sub> au plus, ce qui correspond à quatre grands réacteurs nucléaires. Selon le projet de loi, les aides ne seront versées que si tous les réacteurs sont construits sur le même site et si leur puissance installée totale

atteint au moins 300 MW<sub>e</sub> – ce qui signifie que de petits réacteurs modulaires entreraient également en ligne de compte. Des exceptions à la puissance totale installée sont possibles. D'ici à 2035, de nouvelles capacités d'au moins 2500 MW<sub>e</sub> devraient être raccordées au réseau. Selon le ministre suédois des Marchés financiers, Niklas Wykman, les demandes de financement pourront vraisemblablement être déposées à partir d'août 2025. Le 21 mai 2025, le ministère des Finances a annoncé dans un communiqué de presse que la loi avait été adoptée par le Parlement (Riksdag). Les médias ont précisé que le résultat du vote avait été de 154 voix contre 151.

# Livre rouge 2024: de l'uranium disponible en suffisance

La dernière édition du «Livre rouge» montre que les ressources mondiales d'uranium sont suffisantes pour couvrir non seulement les besoins actuels de la production nucléaire d'énergie, mais aussi ceux qui résulteraient d'une expansion importante du secteur jusqu'en 2050 et au-delà. Il sera néanmoins primordial d'investir en temps voulu dans de nouvelles techniques de prospection, d'extraction et de traitement de l'uranium pour que ce minerai puisse être disponible sur le marché au moment opportun.

Depuis le milieu des années 1960, l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) établissent régulièrement des statistiques sur les réserves mondiales d'uranium ainsi que sur la prospection, la production et la demande d'uranium. Intitulée «Uranium 2024: Resources, Production and Demand», la dernière mise à jour du fameux «Livre rouge» porte essentiellement sur les années 2021 et 2022, mais contient aussi quelques informations sur 2023 et 2024. Elle comporte en outre 62 profils nationaux présentant des informations détaillées sur les plans de développement minier, les aspects environnementaux et sociaux relatifs à l'extraction de l'uranium, et les réglementations et politiques nationales

connexes. Le «Livre rouge» est en principe publié tous les deux ans.

## Les réserves d'uranium sont restées stables

Le «Livre rouge» distingue entre réserves raisonnablement assurées (Reasonably Assured Resources, RAR) et réserves supposées (Inferred Resources, IR), qu'il regroupe toutes deux sous la désignation générique de ressources identifiées récupérables (Identified Recoverable Resources). En plus de cette distinction fondée sur le niveau de connaissances ou d'exploration minière, les gisements d'uranium sont classés en fonction des coûts d'extraction prévisibles (exprimés en dollars américains [USD] par kilo d'uranium métal). Le «Livre rouge» distingue quatre catégories de coûts: faibles coûts (jusqu'à



La 60<sup>e</sup> séance du Joint NEA-IAEA Uranium Group s'est tenue à Vienne du 10 au 14 février 2025, réunissant plus de 50 experts issus des pays membres de l'AEN et de l'AIEA. Le groupe épaula la rédaction du «Livre rouge», coordonne les évaluations régulières de l'offre mondiale d'uranium, analyse le rapport entre l'offre et la demande, et recommande des mesures pour garantir un approvisionnement en uranium sûr à long terme.

(Photo: AEN via X)

40 USD/kg d'U), coûts moyens (jusqu'à 80 USD/kg d'U), coûts élevés (jusqu'à 130 USD/kg d'U) et coûts très élevés (jusqu'à 260 USD/kg d'U, soit 100 USD/lb  $U_3O_8$ ).

Les réserves mondiales d'uranium n'ont pratiquement pas changé par rapport à celles recensées dans l'édition 2022 du Livre rouge. Au 1<sup>er</sup> janvier 2023, les ressources identifiées récupérables au coût prévisionnel maximal de 260 USD/kg d'U s'élevaient au total à un peu plus de 7,9 millions de tonnes d'uranium métal, ce qui correspond à une hausse de 0,2% (17'000 t d'U) par rapport à 2021. Elles se composent à 60% de réserves raisonnablement assurées (qui ont augmenté de 1% par rapport à l'édition 2022) et à 40% de réserves supposées.

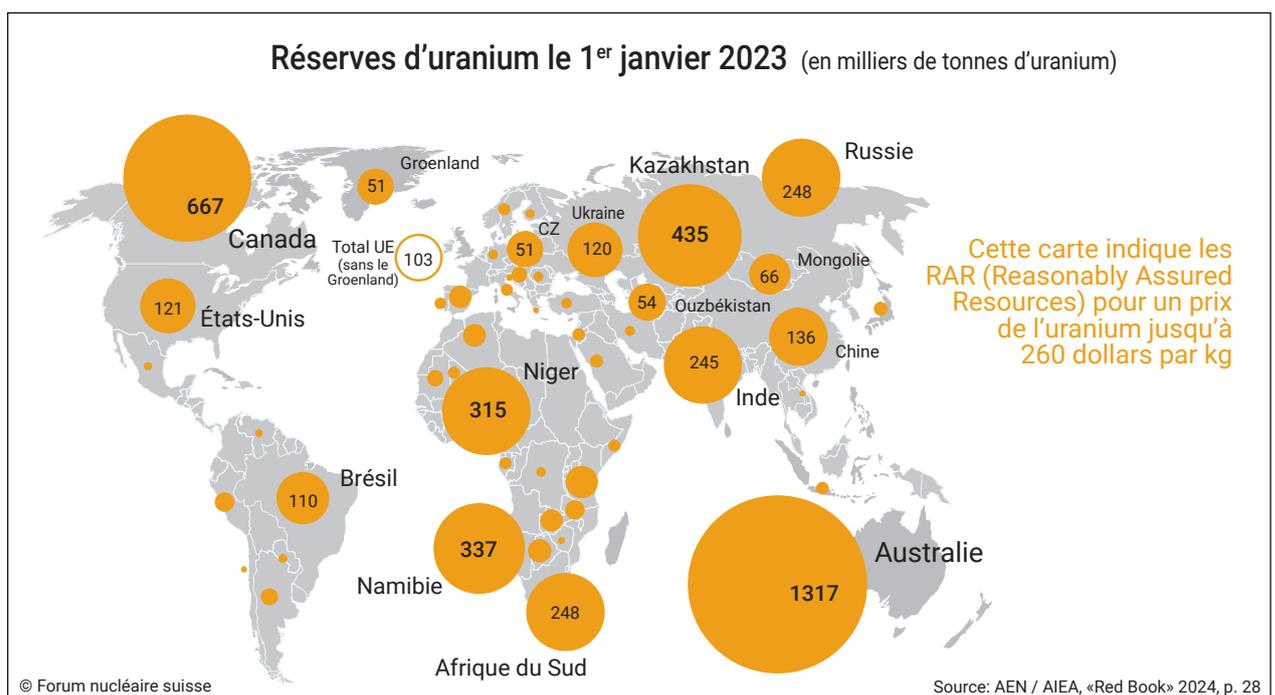
Les ressources d'uranium récupérables au coût prévisionnel maximal (prix plafond) de 130 USD/kg d'U (50 USD/lb  $U_3O_8$ ) s'élevaient en tout à 5,9 millions de t d'U au 1<sup>er</sup> janvier 2023, ce qui correspond à un recul de 3% par rapport à 2021. Celles récupérables aux prix plafond de 80 USD/kg d'U et de 40 USD/kg d'U avaient quant à elle enregistré des baisses plus marquées, à savoir de -6% et de -14% respectivement, essentiellement

parce que les gisements d'uranium brésiliens et ouzbeks ont été entièrement réévalués. Déjà observée par le passé, la tendance à réévaluer à la hausse les catégories de coûts auxquelles sont affectées les réserves d'uranium s'est poursuivie, si bien qu'au 1<sup>er</sup> janvier 2023, seuls quatre pays déclaraient encore des réserves dans la catégorie de prix allant jusqu'à 40 USD/kg d'U. Il s'agit en particulier du Kazakhstan, qui détient 75% des ressources récupérables à ce prix.

Selon l'AEN et l'AIEA, des quantités considérables d'uranium s'ajouteront aux ressources aujourd'hui assurées si les techniques d'extraction continuent de s'améliorer, si de nouveaux gisements sont découverts ou si des ressources d'uranium non conventionnelles en viennent à être exploitées.

### L'Australie toujours en tête

L'Australie continue de détenir la majeure partie des réserves mondiales d'uranium, avec 28% des ressources identifiées récupérables au prix plafond de 130 USD/kg d'U et 24% de celles récupérables au prix plafond de 260 USD/kg d'U. Pas moins de 68% des réserves d'ura-



niium australiennes, soit 17% des ressources mondiales identifiées, proviennent d'un seul gisement, celui d'Olympic Dam, d'où l'uranium est extrait comme sous-produit du cuivre.

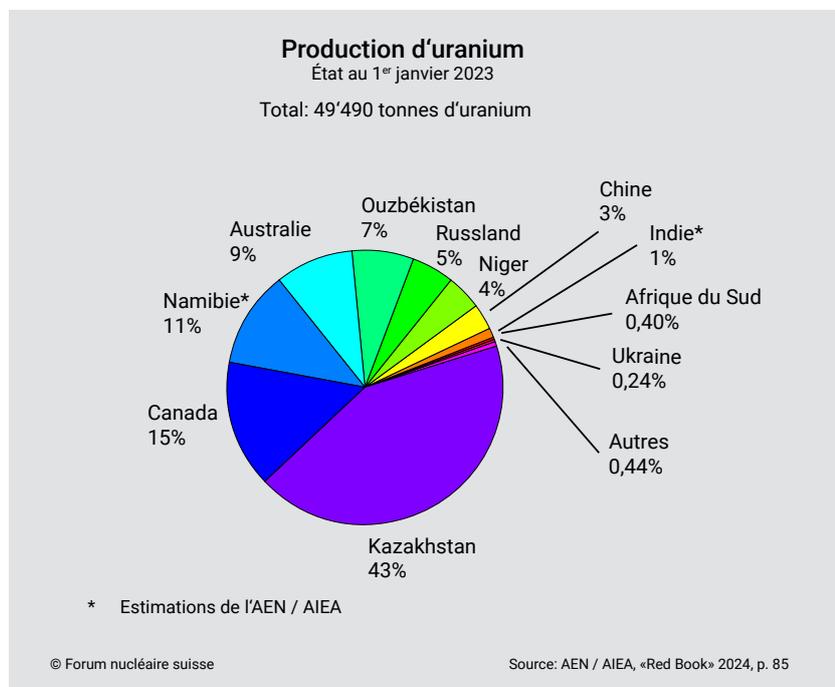
Les parts du Kazakhstan (14%) et du Canada (10%) dans les ressources identifiées récupérables au prix plafond de 130 USD/kg d'U – ainsi que dans celles récupérables au prix plafond de 260 USD/kg d'U (11% pour chacun de ces deux pays) – restent similaires à celles de l'édition précédente du Livre rouge. Les 95% des ressources mondiales récupérables au prix plafond de 130 USD/kg d'U et plus de 90% des ressources récupérables au prix plafond de 260 USD/kg d'U sont détenus par quinze pays.

S'agissant des catégories de coûts les plus basses (jusqu'à un prix plafond de 40 USD/kg d'U et jusqu'à un prix plafond de 80 USD/kg d'U), les auteurs relèvent que les indications fournies sont à prendre avec prudence (en particulier pour le prix plafond de 40 USD/kg d'U). En effet, l'Australie ne fait état d'aucune réserve dans cette catégorie, la plupart des autres pays non plus, et les quelques États qui le font sous-estiment peut-être les coûts de récupération, soit parce qu'ils n'ont encore jamais extrait d'uranium, soit parce qu'ils ne l'ont plus fait depuis longtemps.

### Augmentation de la production mondiale d'uranium

Le regain d'intérêt mondial pour l'énergie nucléaire enregistré en 2020 a entraîné une relance du marché de l'uranium à partir de 2021. La croissance de la demande d'uranium et la hausse des prix ont entraîné une augmentation des activités de prospection et d'exploitation minière: les dépenses y relatives ont atteint 803 millions de dollars américains en 2022, soit deux fois plus que lors du creux de 2020. La production minière d'uranium a quant à elle augmenté de 4% entre 2020 et 2022, puis continué à progresser en 2023 et 2024. Des mines désaffectées ont même été remises en service.

De futures hausses du prix de l'uranium pourraient-elles remettre en cause la rentabilité de la production nucléaire d'électricité? Non. En effet, comme l'explique la centrale nucléaire de Gösgen, «les coûts de combustible ne représentent qu'un faible pourcentage des coûts de



production de l'électricité nucléaire. Un tarif de l'uranium nettement plus élevé n'aurait donc que peu de conséquences sur les prix du courant.»

En 2022, 17 pays ont produit de l'uranium, avec à la clé une production mondiale de 49'490 tonnes. Le Kazakhstan reste le premier producteur mondial d'uranium avec une part de 43%, bien que la production n'y tourne pas encore à plein régime. Viennent ensuite le Canada (15%), la Namibie (12%), l'Australie (9%), l'Ouzbékistan (7%) et la Russie (5%). Ensemble, ces six pays ont produit 90% de l'uranium extrait dans le monde en 2022. Si l'on y ajoute le Niger, la Chine et l'Inde (respectivement septième, huitième et neuvième producteur mondial), on obtient le groupe de neuf pays qui a assuré les 99% de la production planétaire cette année-là.

En 2020 et 2021, la production mondiale d'uranium a connu un creux, n'atteignant que quelque 47'500 tonnes. Elle a augmenté de 5% en 2022 et de 10% supplémentaires en 2023 pour s'établir à 54'345 tonnes, ce qui ne représente que 86% du pic de 63'000 tonnes d'uranium enregistré en 2016. Dans les pays de l'OCDE, le recul a été particulièrement marqué entre 2016 et 2021, car des

mines ont été fermées au Canada et aux États-Unis en raison du bas prix de l'uranium et de la pandémie, et que la mine de Ranger en Australie, épuisée, a elle aussi été fermée.

### Méthodes de production

La lixiviation in situ (In-situ Leaching, ISL), peu coûteuse, reste la méthode d'extraction la plus utilisée, en raison principalement de son développement rapide au Kazakhstan et, dans une moindre mesure, en Australie, en Chine, en Russie et en Ouzbékistan.

En 2022, elle comptait pour près de 60% de la production mondiale totale, suivie par l'exploitation minière souterraine (18%) et par l'exploitation minière à ciel ouvert (16%). Les fermetures et mises en service d'installations, de même que les réouvertures d'installations précédemment fermées expliquent généralement les variations à court terme dans les parts respectives des différentes méthodes de production. Ainsi, la remise en service de la mine McArthur River au Canada (fermée en 2018) a permis de ramener la production minière souterraine à environ 6925 tonnes d'uranium par an en 2023. De même, la fermeture des mines d'Akouta au Niger et de Ranger en Australie en 2021 a entraîné la disparition d'une part importante de la production à ciel ouvert.

### Des ressources suffisantes pour plusieurs décennies

Au 1<sup>er</sup> janvier 2023, 438 réacteurs nucléaires commerciaux étaient en service dans le monde, avec une puissance nette de 394 GW<sub>e</sub> et une consommation de 59'000 tonnes d'uranium par an. Selon le Livre rouge, l'expansion prévue de l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale pourrait, d'ici à 2050, porter la puissance installée à 574 GW<sub>e</sub> dans un scénario bas ou à 900 GW<sub>e</sub> dans un scénario haut. Les besoins en uranium passeraient ainsi à quelque 90'000 ou à quelque 142'000 tonnes d'uranium par an selon le scénario considéré. C'est en Chine qu'est prévue la plus forte croissance.

Outre les 7,9 millions de tonnes d'uranium identifiées comme réserves récupérables, il existe une quantité équivalente de ressources non découvertes (prévues et spéculatives) ainsi que de l'uranium provenant de sources secondaires telles que le retraitement d'assemblages combustibles usés. À cela s'ajoutent 57 millions de tonnes d'uranium provenant de ressources non conventionnelles (p. ex. extraction de l'uranium contenu dans l'eau de mer) qui constituent une source potentielle supplémentaire.

### Production mondiale d'uranium par méthode d'extraction

(État: 1<sup>er</sup> janvier 2023, en %)

Méthode d'extraction	2020	2021	2022	2023 (provisoire)
Mine à ciel ouvert	18,5	16,9	15,9	15,6
Mine souterraine	15,9	15,3	18,0	23,3
Lixiviation in situ acide	58,2	63,1	59,8	55,4
Lixiviation in situ alcaline	0,0	0,0	0,0	0,0
Coproduit/sous-produit	7,0	4,5	6,1	5,5
Lixiviation en tas	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres méthodes	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Remarque: ces chiffres peuvent faire l'objet d'effets d'arrondi.

(Source: AEN/AIEA, «Livre rouge» 2024, page 98)

### Transformation du marché

Selon le Livre rouge, les tensions géopolitiques entraînent une transformation du marché de l'uranium. Certains pays reconstituent leurs stocks nationaux ou privilégient les importations en provenance de pays alliés ou neutres. De plus, l'importance de l'énergie nucléaire pour la réalisation de l'objectif de zéro émission nette est aujourd'hui reconnue, si bien que cette technologie suscite un intérêt croissant à l'échelle mondiale.

«La dynamique mondiale en faveur de l'énergie nucléaire, alimentée par les objectifs et les engagements en matière de protection du climat – tels que l'appel à tripler les capacités nucléaires mondiales d'ici à 2050 lancé par plus de 20 pays lors de la COP28 – laisse présager une hausse de la demande d'uranium, d'autant plus que les petits réacteurs modulaires (SMR) gagnent en importance», indique le rapport. À long terme, des conceptions de réacteurs avancées et des cycles du combustible fermés offrant des possibilités de recyclage pourraient garantir que «les ressources en uranium existantes puissent être exploitées pendant plusieurs siècles au moins, assurant ainsi la pérennité de l'énergie nucléaire», poursuit le rapport. Des sources d'uranium non conventionnelles telles que les gisements de phosphate et de schiste noir, ainsi que des technologies d'extraction innovantes, pourraient également ac-

croître la disponibilité de la ressource, mais il faudrait que le prix de l'uranium «atteigne un certain niveau et s'y maintienne» pour justifier des investissements dans ces domaines.

«En conclusion, on peut affirmer que, même si les ressources en uranium sont suffisantes pour couvrir la demande dans des scénarios de croissance faible ou forte de l'énergie nucléaire jusqu'en 2050 et au-delà, des investissements considérables dans de nouveaux projets miniers restent indispensables. Compte tenu des longs délais de développement des projets, il est essentiel d'identifier de court à moyen terme ceux qu'il convient de mettre en œuvre et de les faire progresser suffisamment pour prévenir d'éventuelles pénuries d'approvisionnement.» (B.G./M.A./D.B. d'après le Livre rouge 2024 de l'AIEA et de l'AEN/OCDE, 8 avril 2025, et un communiqué de presse de l'AIEA également paru le 8 avril 2025)

Uranium 2024: Resources,  
Production and Demand



# Les techniques nucléaires au service de la criminalistique

Même si elles ne sont pas souvent sous les feux de la rampe, les techniques nucléaires rendent de fiers services aux enquêteurs en permettant d'analyser des échantillons de preuves médico-légales se rapportant à des meurtres, à la contrefaçon d'œuvres d'art, au trafic de stupéfiants, ainsi qu'à bien d'autres crimes et délits. Grâce à l'analyse des propriétés physico-chimiques des matériaux, elles contribuent à établir un lien entre les prélèvements effectués sur le terrain et le ou les auteurs des faits.

Les techniques nucléaires permettent aux spécialistes d'analyser des fragments infimes de preuves (traces) comme des marques de peinture ou un simple cheveu, et de mettre en évidence des informations qui n'auraient pas pu être découvertes autrement, par exemple l'âge réel d'une œuvre d'art contrefaite ou la question de savoir si une personne a été empoisonnée ou non. Elles ont des effets bien moins destructeurs que d'autres méthodes d'analyse, telles que l'utilisation de substances chimiques, qui peuvent altérer les preuves fragiles. Ainsi, ces dernières restent le plus souvent préservées en vue d'une analyse ultérieure.

## Les techniques clés

Les techniques nucléaires les plus couramment utilisées en criminalistique sont celles à rayons X (spectromètre à fluorescence X et synchrotron), l'analyse par activation neutronique, l'analyse par faisceaux d'ions et la datation au carbone.

## Les techniques à rayons X

Les rayons X sont l'un des outils d'analyse les plus utilisés en criminalistique. Sensibles et fiables, ils peuvent être utilisés sur des éléments de preuve minuscules, le plus souvent sans les détruire. Ils donnent généralement des



Les techniques nucléaires permettent d'analyser des fragments de verre, des douilles de balles, des résidus de terre, etc. En complément à d'autres moyens de preuve tels que l'ADN, elles contribuent à ce que les auteurs d'actes délictueux puissent être identifiés et poursuivis.

(Infographie: Maria Platonova / AIEA)



Les rayons X aident à élucider des meurtres. Aux États-Unis, le ministère public a comparé une morsure présente sur le corps d'une victime avec les radiographies dentaires d'un accusé, ce qui a permis d'obtenir sa condamnation. C'était à la fin des années 1970.

(Photo: Collection photographique de l'État de Floride)

résultats en quelques minutes, et offrent la possibilité de réaliser plusieurs analyses en peu de temps, y compris sur le lieu des enquêtes grâce à des appareils portatifs.

Les techniques à rayons X peuvent aider à détecter la présence d'éléments et à en mesurer la concentration dans pratiquement tous les types de matières et de matériaux. Elles permettent d'analyser la composition du sol, de stupéfiants ou de minéraux et d'en déterminer la provenance. Les rayons X sont également utiles pour les examens comparatifs de peintures, de métaux ou de résidus de tir ainsi que pour les examens médicaux.

Les scientifiques utilisent des appareils tels que le spectromètre à fluorescence X ou le synchrotron pour bombarder l'échantillon à analyser de faisceaux de rayons X. Ces faisceaux stimulent les atomes de l'échantillon, qui libèrent un rayonnement pouvant être détecté et utilisé pour identifier l'élément chimique d'où proviennent les atomes.

### L'analyse par activation neutronique

L'analyse par activation neutronique est une technique qui utilise l'interaction entre un flux de neutrons et la ma-

tière étudiée pour déterminer «l'empreinte des éléments» d'un échantillon, c'est-à-dire sa composition isotopique exacte, laquelle renseigne sur son âge et son origine.

Lors d'une AAN, les échantillons sont bombardés de neutrons. Les atomes libèrent alors des particules et/ou des rayonnements qui peuvent être captés et analysés par un détecteur spécialisé. Cette technique permet de déterminer la composition de l'échantillon, de le dater et de savoir d'où il provient. L'AAN est généralement utilisée pour analyser la composition des balles afin d'en déterminer l'origine à partir d'échantillons très réduits. En outre, elle permet de déterminer la composition de la fibre capillaire, ce qui peut apporter des éléments nouveaux dans une affaire, tels que la présence de stupéfiants ou d'autres substances toxiques dans le corps.

L'AAN peut également être utilisée pour déterminer l'origine des aliments de qualité supérieure et identifier les produits contrefaits. Ainsi, dans le cas des truffes, un échantillon réduit est soumis à un bombardement neutronique, puis on détecte le rayonnement gamma émis par les noyaux atomiques de l'échantillon. Sur cette base, il est possible d'établir un lien entre les éléments chimiques de l'échantillon et un lieu particulier.

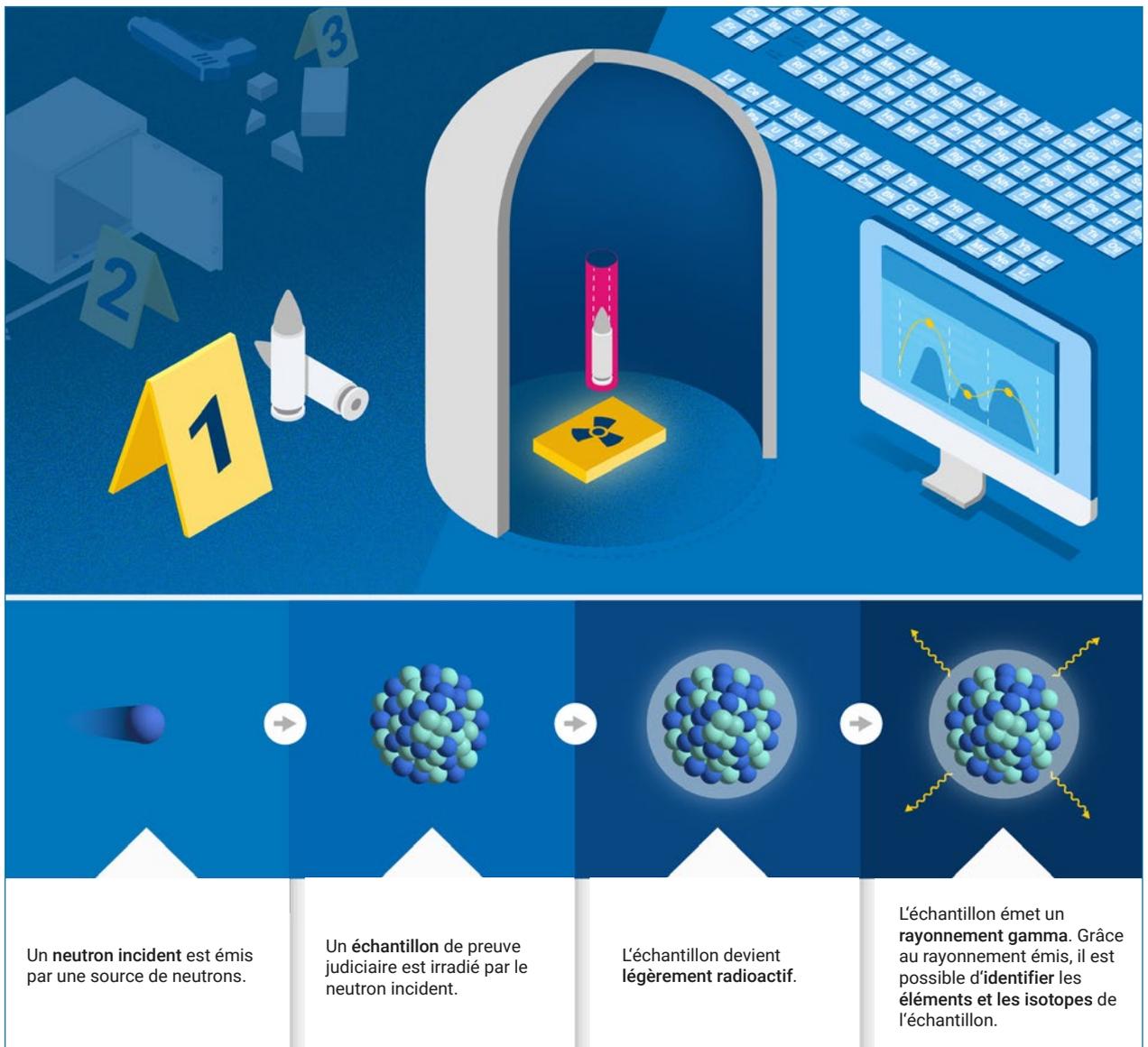
### L'analyse par faisceaux d'ions

Parmi les méthodes nucléaires qui sont de plus en plus utilisées dans les enquêtes criminelles figure l'analyse par faisceaux d'ions. Pour ce type d'analyse, des accélérateurs de faisceaux d'ions sont utilisés pour accélérer des ions ou des électrons et ainsi produire un faisceau de particules chargées. Une fois placés dans ce faisceau, les échantillons de preuve émettent un rayonnement qui peut être capté et analysé. L'utilisation d'ions permet aux enquêteurs de connaître la composition et l'origine d'échantillons de preuve tels que stupéfiants, explosifs, résidus de tir, objets d'art ou historiques potentiellement contrefaits, etc. La détermination de l'âge et de la composition des éléments de preuve renforce leur force probante dans les enquêtes.

L'analyse des résidus de tir, par exemple, peut aider à élucider des crimes violents impliquant l'usage d'armes à feu. Un résidu de tir est une nuée de fumée et de parti-

cules libérées par l'explosion d'une cartouche d'arme à feu. Des techniques nucléaires telles que l'analyse par faisceaux d'ions permettent de détecter les composés inorganiques libérés par le tir et les minuscules particules qui se sont déposées sur des éléments en lien avec le coup de feu (par exemple, sur les mains ou les vêtements du suspect) pour identifier l'auteur du tir.

Des faisceaux d'ions sont également utilisés pour analyser des fragments de verre issus d'accidents avec délit de fuite. Des études montrent que si l'on combine l'analyse par faisceaux d'ions à l'apprentissage automatique pour analyser les fragments de vitres d'une voiture, il est possible d'identifier la marque et le modèle du véhicule avec une précision allant jusqu'à 80%.



Les enquêteurs utilisent l'analyse par activation neutronique (AAN) depuis des décennies pour déterminer avec précision la quantité d'un élément chimique ou d'isotopes spécifiques d'un élément, présente par exemple dans une balle. (Infographie: A. Vargas / AIEA)

### La datation au carbone

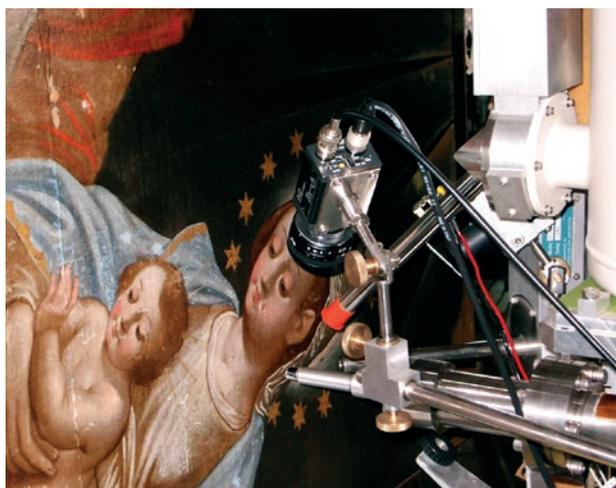
La datation au carbone est une méthode qui utilise un isotope du carbone – le carbone 14 – pour déterminer l'âge réel d'objets anciens composés de matières organiques et détecter les contrefaçons d'œuvres d'art. Cette technique, qui permet de déterminer l'âge d'objets datant au plus de 50'000 ans, a déjà aidé bon nombre d'enquêteurs à déterminer l'authenticité de tableaux, de statues et d'autres objets historiques de valeur.

Par exemple, en 2019, des experts ont utilisé la datation au carbone pour identifier les contrefaçons de deux toiles célèbres, l'une impressionniste et l'autre pointilliste. L'analyse des fibres des toiles a révélé qu'elles

avaient été fabriquées après la mort de leurs auteurs présumés, ce qui a permis de conclure qu'il s'agissait de contrefaçons.

### Autres méthodes

D'autres techniques nucléaires courantes sont également utilisées dans des enquêtes, par exemple la spectrométrie de masse à rapport isotopique l'est pour déceler la fraude alimentaire (voir Bulletin 4/2024). (M.A./D.B. d'après l'article en ligne «Comment les techniques nucléaires aident-elles les enquêtes criminelles?» de Vladimir Tarakanov, Bureau de l'information du public et de la communication de l'AIEA, publié le 22 janvier 2025)



L'analyse non destructive d'objets d'art par faisceaux d'ions a été utilisée à l'Institut Jožef Stefan en Slovénie. Pour en savoir plus sur les techniques nucléaires destinées à étudier et préserver les objets d'art et du patrimoine culturel, consultez l'article que l'AIEA a mis en ligne sur le sujet. (Photo: JSI / Ziga Smit)



La datation au radiocarbone a permis de déterminer que la Louve du Capitole, qui est conservée aux musées du Capitole à Rome depuis 1471, date en fait du XII<sup>e</sup> siècle et qu'il ne s'agit donc pas d'une sculpture étrusque du V<sup>e</sup> siècle comme on le pensait auparavant. (Photo: 977\_rex\_977 / Adobe Stock)

## Les interdictions d'hier, des options pour demain



### Rainer Meier

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

En avril 1975, j'avais 16 ans et bien d'autres choses en tête que les centrales nucléaires. Néanmoins, la naissance du mouvement antinucléaire suisse ne m'a pas laissé indifférent. D'un point de vue légal, les occupants et, a fortiori, les auteurs de l'attentat à l'explosif de Kaiseraugst ont largement dépassé les bornes. Pour certains, il s'agissait peut-être plus de rébellion que d'énergie. Il n'en demeure pas moins que le mouvement antinucléaire a manifesté bruyamment son malaise émotionnel face à cette technologie encore jeune. Un malaise qu'il partageait avec une grande partie de la population. Moi compris.

C'était il y a 50 ans. Depuis lors, le bloc de l'Est s'est effondré, tout comme Swissair et Credit Suisse. Et Internet, l'ordinateur personnel, le téléphone portable et l'intelligence artificielle ont fait leur apparition. Qui aurait pu imaginer en avril 1975 que l'un ou l'autre de ces bouleversements se produirait?

Nos centrales atomiques continuent de fonctionner de manière stable et sûre, constituant ainsi l'épine dorsale de notre approvisionnement en électricité.

50 ans. Ne serait-ce pas l'occasion de revenir sur le malaise émotionnel de l'époque?

25 ans après Kaiseraugst, mon parcours professionnel m'a conduit dans le monde de l'énergie nucléaire. J'ai vu les cinq centrales suisses de l'intérieur, discuté avec des directeurs de centrale, des opérateurs et des responsables d'équipe, et participé à la rédaction de la demande d'autorisation générale pour Beznau 3. La compréhension ainsi acquise m'a libéré de mon malaise émotionnel.

### Des options plutôt que des interdictions

De nombreux Suisses ont eux aussi surmonté ce malaise, du moins suffisamment pour se prononcer régulièrement en faveur des centrales nucléaires lors des sondages et des votations. L'expression «Un mal nécessaire» correspond sans doute assez bien à la manière dont les centrales nucléaires sont perçues par la majorité de la population. Le 13 février 2011, le peuple bernois s'est même déclaré en faveur de la construction d'une nouvelle centrale nucléaire, Mühleberg 2, lors d'un référendum consultatif.

Les accidents de Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011) ont peut-être entamé temporairement la confiance de la population dans ses centrales nucléaires, mais ils ne l'ont pas brisée définitivement. Alors que l'Allemagne a débranché certaines de ses centrales nucléaires et fixé les dates de fermeture des autres tout de suite après Fukushima, la Suisse a clairement voté en 2016 contre une initiative des Verts visant à mettre à l'arrêt nos centrales nucléaires au bout de 40 ans d'exploitation. Résultat des courses: les centrales nucléaires suisses fonc-

tionneront tant qu'elles seront sûres et rentables pour l'exploitant. Depuis lors, les hypothèses de durée de vie ont été fixées à plus de 60 ans, et on spéculé même sur 80 ans. Quid de la résistance politique? Néant.

Notre «sortie du nucléaire» est totalement différente de celle de l'Allemagne. Elle se manifeste exclusivement par l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires. Cette interdiction, née du choc produit par Fukushima, était un compromis typiquement helvétique, inimaginable outre-Rhin. Nous autres Suisses reportons autant que possible les prises de tête et gardons toutes nos options ouvertes aussi longtemps que nous le pouvons. Y a pas l'feu au lac. C'est ainsi que nous sommes.

Les options. La possibilité de choisir. La marge de manœuvre. Voilà les aspects centraux de la question de savoir s'il nous faut ou non lever l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires. Sommes-nous encore certains de trouver à temps des solutions meilleures que l'atome pour la sécurité d'approvisionnement, la protection du climat et notre porte-monnaie? Depuis 2017, nous avons vécu une crise énergétique et découvert que certaines des hypothèses à la base de la Stratégie énergétique 2050 s'étaient évaporées. Nous constatons que les capacités photovoltaïques ont considérablement augmenté, et que cela pose des problèmes au réseau. Nous voyons que l'éolien et l'hydraulique suscitent des résistances parmi les populations locales, et que les importations d'électricité se heurtent à des goulots d'étranglement de nature politique et technique. Les batteries et l'hydrogène restent cantonnés dans un horizon lointain, mais la construction de centrales au gaz se concrétise de plus en plus.

Et nous assistons à de tout nouveaux développements dans le domaine nucléaire: des centrales à sûreté passive alimentées à l'uranium ou au thorium et offrant un large éventail de modes de refroidissement. La fonte du cœur ne sera plus possible. Nous voyons apparaître des réacteurs de petite et très petite taille, polyvalents, modulaires, et qui dans quelques années seront livrés prêts à être raccordés au réseau.

### **Pour plus de rationalisme dans la définition de notre avenir énergétique**

Les nouvelles solutions nucléaires sont-elles redevenues une option à laquelle nous ne devrions pas renoncer à la légère?

Faisons appel à la raison. Ceux qui pensent que de nouvelles centrales nucléaires sont nécessaires voteront de toute manière oui à la levée de l'interdiction. Mais même ceux qui sont certains d'être sur la bonne voie avec la Stratégie énergétique 2050 peuvent voter oui en toute confiance.

Car, d'un point de vue rationnel, l'interdiction était déjà superflue en 2017. Si – comme le prévoit la stratégie énergétique – il est possible d'approvisionner la Suisse en électricité de manière sûre, respectueuse du climat et économique avec des sources d'énergie autres que l'atome, alors on cessera de toute manière de construire des centrales nucléaires. Si la technologie nucléaire est obsolète – comme le prétendent bon nombre de ses adversaires – pourquoi l'interdire? Les technologies obsolètes ont toujours été supplantées par de nouvelles technologies plus performantes. Qui aurait songé à interdire le téléphone à cadran, le fax ou les téléviseurs à tube cathodique?

Néanmoins, le maintien de l'interdiction relève aussi d'une certaine logique, du moins pour les deux principaux groupes qui le défendent.

Il s'agit, d'une part, de ceux qui profitent de la stratégie énergétique: les producteurs d'énergie, les entreprises techniques, les installateurs de panneaux solaires, mais aussi certaines associations, ONG et hautes écoles qui apportent leur contribution à la Stratégie énergétique et

**Rainer Meier** (66 ans) a été responsable de la communication chez Axpo de 2006 à 2021. Il travaille aujourd'hui pour différentes entreprises comme conseiller senior en matière de réputation et de communication de crise.

ont ainsi bâti un modèle d'affaires alimenté par des subventions. L'interdiction protège ces modèles d'affaires.

Il s'agit, d'autre part, des partis politiques qui se sont profilés pendant des décennies au travers de la lutte contre l'atome et qui ont toujours vu dans les centrales nucléaires un potentiel politique plutôt qu'une technologie. Quiconque a créé un narratif aussi puissant que celui d'une technologie diabolique détruisant l'humanité ne pourra probablement plus s'en passer, même si les faits démontrent le contraire. Je connais personnellement certains des occupants de Kaiseraugst de l'époque, et je serais surpris qu'un quelconque des changements survenus au cours des 50 dernières années ait pu les libérer de leur malaise émotionnel.

Je peux donc comprendre rationnellement l'opposition tant économique que politique à la levée de l'interdiction de construire des centrales nucléaires. Mais accordons-nous vraiment plus d'importance aux modèles d'affaires individuels et aux narratifs politiques qu'à la sécurité de l'approvisionnement en électricité de la société et de l'économie? N'est-il pas dans notre intérêt de disposer du plus grand nombre possible d'options, non seulement du point de vue économique, mais aussi en raison du caractère potentiellement disruptif de la situation mondiale?

La Stratégie énergétique 2050 elle-même table sur de nombreuses options. Dans sa mise en œuvre, elle n'a certes pas encore répondu de manière convaincante à la question de savoir si l'on peut effectivement se passer de nouvelles centrales nucléaires. Mais elle a aussi une grande force: elle a réorienté la réflexion et permis l'émergence d'idées novatrices conduisant à des solutions nouvelles et efficaces, que ce soit dans la construction, dans la mobilité, dans la consommation ou dans la production d'énergie elle-même. Nous en avons bien besoin!

Au cours des 50 prochaines années, il se passera encore beaucoup de choses inimaginables aujourd'hui. Mais il n'y a guère de risque à pronostiquer que nos enfants et petits-enfants vivront dans une société qui sera de plus en plus dépendante de l'énergie. Il est donc d'autant plus important, dans leur intérêt, que nous utilisions les ressources avec soin et efficacité. Pour ce faire, nous avons besoin de solutions intelligentes. Peut-être qu'elles seront un jour nucléaires.

Quoi qu'il en soit, s'il est une chose dont nous n'avons pas besoin, ce sont les interdictions. (D.B.)

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

## En Suisse

**Les installations nucléaires en Suisse** ont satisfait l'an dernier aux exigences d'une exploitation sûre. C'est la conclusion à laquelle parvient l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) dans un premier bilan de l'année de surveillance 2024.

D'après le dernier rapport de gestion, en 2024, la centrale nucléaire de **Leibstadt** a produit une grande quantité d'électricité (9,636 mia. de kWh) à des coûts de production opérationnels bas (4,88 ct./kWh). Le rapport de durabilité, également publié, fournit un aperçu de la production d'électricité fiable et peu émettrice.

Framatome modernisera le contrôle-commande de la centrale nucléaire de **Leibstadt**. Elle utilisera la dernière génération de sa technologie numérique Teleperm XS.

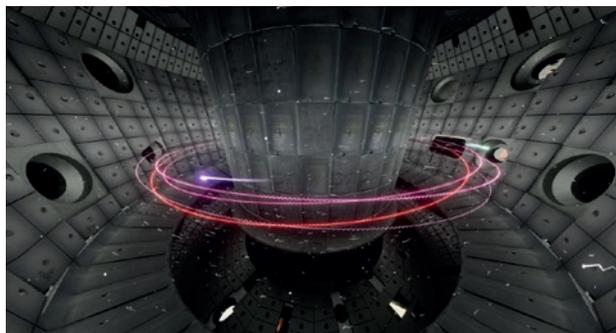


La centrale nucléaire de Leibstadt à partir d'une vue aérienne. (Photo: Max Brugger)

L'entreprise d'approvisionnement en énergie Axpo a conclu de nouveaux contrats d'achat de combustible d'uranium pour les centrales de **Beznau** et **Leibstadt**. «L'approvisionnement en combustible a été diversifié et à l'avenir, nous ne ferons plus intervenir des fournisseurs russes dans la chaîne d'approvisionnement», a déclaré Axpo.

L'exploitante Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG a chargé Framatome de lui fournir des assemblages de combustible HTP et des services associés pour la centrale nucléaire de **Gösgen**.

Le **Swiss Plasma Center** de l'EPFL est désormais équipé d'un jumeau numérique de son réacteur de fusion, le Tokamak à configuration variable (TCV). Une visualisation en 3D des données collectées sera utilisée par les chercheurs et chercheuses à la fois dans le cadre de leur travail et pour communiquer sur la fusion nucléaire.



Une nouvelle visualisation 3D permet de voir les processus à l'intérieur du TCV. (Photo: Swiss Plasma Center via LinkedIn)

Cette année, le **prix spécial Physique fondamentale de la fondation Breakthrough** est décerné à quatre collaborations majeures de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (**CERN**): Alice, Atlas, CMS et LHCb. Cette distinction récompense les scientifiques pour leurs contributions exceptionnelles à la physique des particules expérimentales, en particulier pour leur travail sur le Grand collisionneur de hadrons (Large Hadron Collider, LHC).



Les chercheurs et chercheuses de la collaboration Atlas font partie des 13'508 scientifiques à avoir reçu le prix décerné par la fondation Breakthrough pour l'année 2025. (Photo: CERN)

## À l'étranger

La **Commission européenne** a dévoilé son plan pour mettre fin aux importations de combustibles russes tout en garantissant un approvisionnement énergétique stable et des prix constants. La feuille de route présentée sera suivie de propositions législatives.

Avec une large majorité, le **Parlement belge** a adopté deux projets de loi qui actent la fin de la sortie du nucléaire et rendent possible la construction de nouveaux réacteurs. Le gouvernement réagit ici à la situation tendue de l'approvisionnement, à l'augmentation des prix de l'énergie, et à l'objectif à long terme d'une production d'électricité décarbonée.

Le 13 mai 2025, le **Parlement taiwanais**, le Yuan législatif, a adopté une modification législative qui permet aux exploitants nucléaires de prolonger de 20 ans l'exploitation des réacteurs à l'issue de la durée maximale actuelle de 40 ans. Ainsi, les installations pourront produire de l'électricité durant 60 ans.



Avec leurs affiches et leurs slogans, les députés du parti Kuomintang célèbrent l'adoption de la modification législative qui permet de prolonger le fonctionnement des centrales nucléaires à Taïwan. (Photo: CNA)

À l'occasion d'une réunion du comité consultatif de son ministère, le ministre indien de l'Énergie **Manohar Lal** a réaffirmé l'objectif d'atteindre, d'ici 2047, une capacité nucléaire installée de 100 GW. Cette mesure vise à renforcer à long terme la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays et à réduire la dépendance vis-à-vis des sources d'énergie fossiles.

D'après des articles de la presse locale, lors de sa séance du 27 avril 2025, le **Conseil d'État chinois** a autorisé la construction de dix réacteurs pour un volume d'investissement global de 200 milliards de yuans (env. 22,8 mia. de CHF).



À la fin du 15<sup>e</sup> plan quinquennal, en 2035, la Chine pourrait être le premier pays au monde à posséder plus de 100 réacteurs nucléaires commerciaux. (Photo: Rafael Mariano Grossi via X)

Le **Parlement suédois** a adopté une proposition du gouvernement relatif au modèle public de répartition des risques pour de nouvelles centrales nucléaires. Pour financer jusqu'à quatre gros réacteurs, le texte prévoit des contrats sur différence et des prêts publics qui devront être remboursés.

Le **Kazakhstan** a sélectionné quatre fournisseurs de technologie pour construire sa première centrale nucléaire. Il s'agit du Russe Rosatom, du Sud-coréen Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP), du Français EDF et du Chinois China National Nuclear Corporation (CNNC). Une décision est attendue fin novembre 2025.

Enel, Ansaldo Energia et Leonardo ont fondé **Nuclitalia**, une nouvelle entreprise chargée d'étudier les technologies avancées et d'analyser les chances sur le marché ainsi que la faisabilité de l'énergie nucléaire en Italie. Au cours de la première phase, l'accent sera mis sur les petits réacteurs modulaires refroidis à l'eau (SMR).

L'énergéticien **Teollisuuden Voima Oyj** (TVO) et la **Banque nordique d'investissement** (BNI) viennent de signer une convention de prêt (75 millions d'euros) pour le financement des mesures de modernisation des tranches 1 et 2 de la centrale d'Olkiluoto.



Le prêt accordé à TVO pour les tranches 1 et 2 de la centrale d'Olkiluoto permettra d'améliorer un peu plus les standards de sécurité, d'accroître la disponibilité des installations et de préparer un éventuel allongement de la durée d'exploitation ainsi que l'optimisation des performances.

(Photo: TVO)

Les **Laboratoires nucléaires canadiens** (LNC) ont signé avec **Isowater Corporation** un accord de partenariat visant à mettre à disposition leur expertise dans le domaine de la séparation des isotopes d'hydrogène et dans les technologies connexes.



Les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC) sont leaders dans le développement de technologies de production et de traitement d'eau lourde. (Photo: CNL)

L'entreprise américaine **Amentum** soutiendra **ČEZ**, le plus gros énergéticien tchèque, dans les travaux préparatoires en vue de la construction de deux petits réacteurs modulaires (SMR). Amentum réalisera des études d'impact environnemental (EIE) sur les futurs sites potentiels de Temelín et de Tušimice.

La start-up sur la fusion **Marvel Fusion**, qui travaille sur une technologie de fusion destinée à la production d'électricité et basée sur des lasers, a obtenu 52 millions d'euros supplémentaires dans le cadre de la seconde clôture de la ronde de financement de série B. Marvel Fusion devient ainsi l'entreprise de technologie de fusion européenne la plus largement financée.

**Steady Energy**, développeur finlandais de SMR, va construire une installation pilote non nucléaire sur le site de la centrale thermique Salmisaari-B à Helsinki pour démontrer la maturité et la sécurité de son réacteur **LDR-50** pour le chauffage urbain.



La centrale électrique au charbon Salmisaari-B (Helsinki), mise à l'arrêt le 1<sup>er</sup> avril 2025, accueillera le SMR LDR-50 de Steady Energy. (Photo: Helen)

L'Américain **Dow**, spécialisé dans les produits technologiques, notamment chimiques, et le développeur de réacteurs **X-energy** ont déposé auprès de l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) une demande de permis de construire pour un projet de centrale nucléaire sur le complexe industriel de Seadrift, au Texas. La construction de quatre réacteurs **Xe-100** à haute température refroidis par gaz est prévue, pour une production totale d'électricité de 320 MW.

La start-up américaine **Aalo Atomic** a présenté plusieurs bases de technologie ainsi qu'un centre de fabrication pour une centrale entièrement modulaire destinée à approvisionner les centres de données dédiés à l'IA. Le premier réacteur test expérimental **Aalo-X** devrait être construit dès 2026 sur le terrain du Laboratoire national de l'Idaho, à Idaho Falls. →

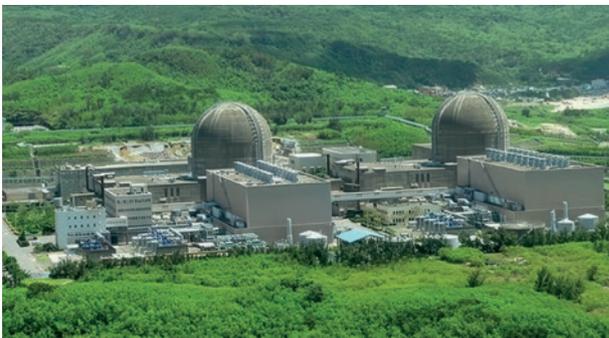
Dans la province chinoise du Shandong, dans l'est de la Chine, le premier béton de sûreté de **Shidaowan 2** a été coulé. La tranche Shidaowan 1 est quant à elle déjà en construction.



Avec le coulage du premier béton de la tranche nucléaire Shidaowan 2, deux réacteurs Hualong-One sont désormais en construction sur le site de Shidaowan. (Photo: Huaneng)

La NRC a accédé à la demande déposée par Duke Energy Carolinas LLC concernant la prolongation de 20 ans du permis d'exploitation des tranches nucléaires **Oconee 1, 2 et 3**. Les trois réacteurs peuvent désormais fonctionner 80 ans, tout comme c'est déjà le cas de neuf tranches.

Le 17 mai 2025, l'exploitant taïwanais Taipower a arrêté **Maanshan 2** – le dernier réacteur du pays – comme prévu après 40 années de fonctionnement.



Vue de la centrale nucléaire taïwanaise de Maanshan. (Photo: Taipower)

L'entreprise australienne **Seatransport Corporation** et l'entreprise américaine **Deployable Energy** ont conclu un partenariat avec **Lloyd's Register** afin de développer de nouveaux concepts de propulsion maritime qui pourraient être utilisés, par exemple, dans la protection contre les catastrophes.



(De gauche à droite) Mark Ho, Chief Nuclear Officer chez Deployable Energy, Stuart Ballantyne, Chairman chez Seatransport Corporation, Claudene Sharp Patel, Global Technical Director chez Lloyd's Register, et Remko Hottentot, Commercial Manager pour Lloyd's Register dans la région d'Australasie. (Photo: Lloyd's Register)

**Google** soutient l'entreprise américaine **Elementl Power** en injectant du capital pour trois nouveaux sites nucléaires. Le partenariat doit mettre à disposition, d'ici à 2035, plus de 10 GW décarbonés pour couvrir la charge de base des États-Unis, comme contribution au tournant énergétique et afin de répondre au besoin croissant en électricité des applications d'IA.

Un consortium dirigé par l'**Institut coréen de recherche sur l'énergie atomique** (Kaeri) s'est vu confier un contrat de 10 millions de dollars de l'Université du Missouri pour la conception et l'homologation du réacteur de recherche **NextGen MURR**. (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](http://www.forumnucleaire.ch).

# La sécurité de l’approvisionnement électrique en Europe rattrapée par la réalité



## Herbert Saurugg

Expert en prévention des crises et pannes d’électricité généralisées

La panne d’électricité géante qui a frappé la péninsule ibérique le 28 avril 2025 a montré de façon spectaculaire à quelle vitesse les infrastructures critiques et l’approvisionnement peuvent s’effondrer, même si beaucoup considéraient jusqu’alors un tel cas de figure comme impossible. En quelques secondes, près de 60 millions de personnes se sont retrouvées sans électricité, et ce pendant une durée pouvant aller jusqu’à 18 heures. De plus, ce n’est pas seulement l’approvisionnement électrique qui est tombé, mais aussi pratiquement tout ce qui en dépendait. Par conséquent, plus rien ne fonctionnait, ou presque.

Il devrait désormais être évident que même si d’énormes efforts sont déployés pour continuer à assurer un niveau très élevé de sécurité d’approvisionnement, celle-ci ne peut être garantie à 100%. Une prise de conscience s’impose: alors que nous nous trouvons au beau milieu de la plus importante transformation infrastructurelle de tous les temps, nous opérons pour ainsi dire à cœur ouvert, de manière assez désordonnée, sans l’approche systématique qui serait nécessaire, et surtout sans filet.

### Des causes encore peu claires

Les causes de la panne d’électricité ibérique font encore l’objet de spéculations, et il faudra probablement des mois avant de pouvoir présenter un tableau à peu près fiable du déroulement réel des événements. La très forte injection solaire combinée à une faible réserve instantanée est soupçonnée d’avoir fragilisé le système. Mais l’utilisation croissante de l’électronique de puissance, tant du côté des producteurs que des consommateurs, augmente également la complexité et la vulnérabilité du système, ce qui a sans doute joué un rôle important dans la panne. La complexité engendre des risques sys-

témiques qui, n’étant pas perceptibles par notre pensée linéaire, sont largement sous-estimés.

### Un effondrement du système tel que le décrivent les manuels

La rapidité avec laquelle l’approvisionnement en électricité s’est effondré pointe clairement vers un excès de complexité dans un système étroitement interconnecté qui atteint ses limites et franchit un point de basculement. En même temps, on peut parler d’un «accident normal» prévisible, au sens où l’entend Charles Perrow, et qui se déroule comme dans les manuels: plusieurs pannes survenant presque simultanément se repercutent les unes sur les autres et conduisent à un effondrement brutal. Un tel événement est perçu comme totalement inattendu, alors qu’au vu de l’excès de complexité persistant du système, une défaillance généralisée était à prévoir depuis des années.

### Des effets en cascade

Comme prévu, des effets se sont produits en cascade dans tous les autres secteurs. Les télécommunications

se sont interrompues, les chaînes de sauvetage ont cessé de fonctionner, les feux de signalisation se sont éteints, les trains et les métros ont été immobilisés, les supermarchés ont dû fermer ou ont été rapidement vidés. Des gens sont restés bloqués dans les ascenseurs. Des problèmes d'approvisionnement en eau et d'évacuation des eaux usées sont également survenus, pour ne citer que ces exemples-là.

Au soir du premier jour, on s'attendait au Portugal à ce que le rétablissement de l'approvisionnement en électricité prenne jusqu'à une semaine. Heureusement, cela ne s'est pas confirmé, car cela aurait été catastrophique. En effet, chaque heure supplémentaire de coupure de courant entraîne une augmentation exponentielle des effets externes, et il en va de même pour la durée du rétablissement et du redémarrage, non seulement de l'alimentation électrique, mais aussi et surtout de l'ensemble du réseau, hautement interconnecté, d'approvisionnement et de logistique. Quelques jours après la panne, les dommages financiers ont été estimés entre 2 et 5 milliards d'euros. Cependant, bien des conséquences n'apparaîtront que progressivement.

### Les temps de redémarrage sous-estimés

En principe, en cas de panne d'électricité généralisée, s'il n'est pas possible de rétablir en grande partie l'approvisionnement électrique en l'espace d'une demi-journée (comme cela a été le cas dans la péninsule ibérique), il faut s'attendre à ce que la crise proprement dite ne commence qu'après la coupure de courant. En effet, la remise en service des systèmes de télécommunication peut traîner en longueur si les dommages et les perturbations difficiles à réparer se multiplient. Et sans télécommunications, il n'y a pas de production, ni de logistique, ni de transport de marchandises, ce qui crée un cercle vicieux.

Comme le montrent diverses études et enquêtes d'opinion, de nombreuses organisations et entreprises, de même que la population, qui comprend les collaborateurs et collaboratrices des organisations et entreprises en question, ne sont pas suffisamment préparées à des pannes d'électricité de grande ampleur. Et le personnel qui ne peut pas subvenir suffisamment à ses propres besoins ou qui est touché par un problème à la maison

ne se rendra vraisemblablement pas au travail pour remettre les systèmes en marche.

On ne peut espérer un redémarrage ordonné des différents secteurs que lorsque l'approvisionnement en biens et services essentiels fonctionne à nouveau de manière relativement correcte et suffisante. Or, il existe des incertitudes considérables quant à la durée réelle de ce redémarrage, qui dépend de la durée de la panne d'électricité, de la région touchée et des dommages causés. Dans tous les cas, il existe un risque que le redémarrage ne se fasse pas toujours aussi «harmonieusement» qu'en Espagne et au Portugal ou que lors de la précédente panne d'électricité généralisée, à savoir celle survenue dans les Balkans il y a moins d'un an, le 21 juin 2024, et qui a été nettement plus courte. Pour un événement généralement considéré comme improbable, un tel cumul est tout de même assez frappant. Car avant la panne de juin 2024, il n'y en avait eu que deux autres du même genre sous nos latitudes: en 1976 et en 2003.

### Conclusion: il n'y a pas de sécurité absolue

Le plus grand danger est l'illusion qu'une panne d'électricité généralisée ne se produira pas, ou qu'elle ne sera pas très grave. Car les cinq dernières années ont montré à plusieurs reprises que la réalité n'obéit pas à nos souhaits. Mieux vaut donc prendre des précautions et ne pas avoir besoin de les appliquer, ou ne devoir les appliquer que dans une mesure limitée, que d'être pris au dépourvu.

**Herbert Saurugg, MSc**, est un expert internationalement reconnu en matière de prévention des pannes d'électricité généralisées et des crises. Il est en outre président de la Gesellschaft für Krisenvorsorge ([www.gfkv.org](http://www.gfkv.org)). Conférencier et auteur de nombreuses publications spécialisées, il est très demandé pour donner des interviews sur ces questions. Il tient un blog ([www.saurugg.net](http://www.saurugg.net), en allemand) qui constitue une mine d'informations de fond et une source d'inspiration précieuse pour les activités de prévention des black-out.

Dans de nombreux pays, la transition énergétique n'est pas menée de manière systématique, ce qui accroît sensiblement le risque de black-out. Il ne suffit pas, tant s'en faut, de remplacer les centrales électriques conventionnelles par des installations de production dépendantes des conditions météorologiques pour maintenir l'approvisionnement en électricité au niveau de sécurité élevé auquel nous sommes habitués et dont nous avons besoin. Quiconque se préoccupe sérieusement de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ne peut exclure que l'énergie nucléaire fasse partie de la solution. En effet, ni les moyens techniques actuels ni ceux qui seront disponibles dans un avenir prévisible ne permettent de stocker temporairement les quantités d'énergie nécessaires de manière qu'elles soient disponibles même lorsque le soleil et le vent ne sont pas au rendez-vous.

Grâce à ses nombreuses centrales à accumulation, la Suisse est certes bien mieux lotie que de nombreux autres pays, mais elle reste confrontée à des limites saisonnières. En outre, nous avons besoin de nouvelles

sous-structures systémiques sous la forme d'unités fonctionnelles décentralisées assorties d'une gestion énergétique intersectorielle («système de cellules énergétiques») et d'une coordination globale. En effet, l'approche actuelle, dans laquelle chacun s'emploie à optimiser sa propre situation et où les intérêts du marché priment sur les exigences physiques, ne peut pas fonctionner à long terme d'un point de vue systémique. Nous ne pourrions pas maîtriser l'augmentation de la complexité, à moins de faire sauter les lois de la nature et les connaissances issues de l'évolution. C'est pourquoi, si nous ne voulons pas connaître d'autres catastrophes, il nous faudra aussi surmonter la polarisation, toxique et croissante, entre l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables dont la production dépend des conditions météorologiques. (D.B.)

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



Vue de la Calle Rosalía de Castro, une rue du centre de Vigo (la plus grande ville de Galice, à l'extrémité nord-ouest de l'Espagne), dans la soirée du 28 avril 2025. (Photo: Seoane Prado – travail personnel, CC BY-SA 4.0)

## La victoire à la Pyrrhus de Kaiseraugst

Les médias ne commémorent pas de la même façon tous les événements. Fukushima (14 ans le 11 mars) et Tchernobyl (39 ans le 26 avril) ont suscité relativement peu d'attention cette année, même si le magazine scientifique de radio SRF a consacré un article empreint d'inquiétude aux conséquences de la chute d'un drone sur l'enceinte de confinement de Tchernobyl 4, survenue le 14 février.

Il en va tout autrement de l'occupation de Kaiseraugst (50 ans le 1<sup>er</sup> avril). Cette date a été «promue» au rang d'anniversaire par plusieurs médias. La télévision suisse-allemande (SRF) a consacré au sujet un documentaire de près d'une heure, que l'on peut tout à fait considérer comme équilibré puisque Ulrich Fischer, ancien directeur de la centrale en projet, de même que l'ancien conseiller fédéral Christoph Blocher, ont été interviewés, et que les attentats à l'explosif et incendiaires ont été analysés. Le «Tagesanzeiger» s'est montré plus partisan, titrant «Kaiseraugst 1975: comment les antinucléaires ont empêché la construction d'une centrale nucléaire à force de persévérance» et affirmant ensuite qu'ils avaient ainsi réussi «un coup de maître». Quant à

la «Wochenzeitung», elle a même assimilé cette occupation à la naissance du mouvement écologiste en Suisse, et fait allusion à la célébration du cinquantenaire en question par une organisation antinucléaire bien connue. À l'évidence, pour certains médias, il ne s'agissait pas seulement de fêter un jubilé.

Revenons au présent. À tous les adversaires de l'atome qui affirment que les centrales nucléaires nous rendraient dépendants de l'étranger, rappelons qu'avec Kaiseraugst, nous importerions aujourd'hui nettement moins d'électricité. Pour nous, ce cinquantenaire d'une opposition parfois violente à la construction de nouvelles centrales nucléaires n'est pas un anniversaire, mais le souvenir d'une victoire à la Pyrrhus, c'est-à-dire, selon Wikipédia, d'«une victoire obtenue au prix de pertes si lourdes pour le vainqueur qu'elle équivaut quasiment à une défaite.» Si nous avons construit une centrale nucléaire de plus – voire, qui sait, deux avec celle de Graben – la Suisse pourrait aujourd'hui mener sa politique et sa transition énergétiques avec beaucoup plus de sérénité. Dommage que les partisans invétérés de l'atome soient les seuls à s'en rendre compte. (M.Re./D.B.)

## 21<sup>e</sup> Assemblée générale ordinaire du Forum nucléaire suisse

Lors de l'Assemblée générale du Forum nucléaire suisse, qui s'est tenue le 14 mai 2025 à l'hôtel Bellevue Palace, à Berne, le président Hans-Ulrich Bigler a été reconduit à l'unanimité pour deux ans, et le comité a été complété. Le député européen français Christophe Grudler a conclu la manifestation.

Dans son discours d'introduction, le président Hans-Ulrich Bigler a esquissé un changement positif pour l'énergie nucléaire au niveau de la politique fédérale. Il a notamment salué l'action du conseiller fédéral Albert Rösti, qui s'engage activement pour une politique énergétique tournée vers l'avenir. M. Bigler a rappelé que l'an passé, le Conseil fédéral avait laissé entrevoir une levée de l'interdiction de construire de nouveaux réacteurs. Le Forum nucléaire s'engagera activement pour rendre possible cette avancée. M. Bigler a également souligné le rôle joué par le Forum nucléaire suisse au niveau international, en particulier son action au sein du comité de Nucleareurope.

Avant de s'atteler au premier point à l'ordre du jour, il a salué l'invité d'honneur de l'assemblée, Johannes Stözl. Celui-ci a obtenu le prix «Énergie», sponsorisé par le Forum nucléaire suisse, dans le cadre du Concours national «Force et jeunesse» (cf. article p. 38).

Lors de la partie statutaire de l'assemblée, les membres ont approuvé à l'unanimité le procès-verbal de l'Assemblée générale de l'année dernière, de même que le rapport annuel et les comptes annuels 2024. Ils ont également donné décharge au comité (décharge des organes de l'association).

L'article 13 des statuts prévoit que l'organe de révision soit choisi chaque année. La société Dr. Balsiger & Partner AG de Zofingen a fait part de sa volonté d'intervenir une année de plus, et a été réélue à l'unanimité.



Comme chaque année, l'Assemblée générale a aussi été l'occasion pour les acteurs de la branche nucléaire d'entretenir leur réseau. (Photo: Forum nucléaire suisse)

Elmar Artho (ABB Suisse) est venu compléter le comité et prendre la suite d'Andreas Koch. Le professeur Andreas Türler ne s'est pas présenté à sa propre réélection. Les autres membres ont été reconduits dans leurs fonctions. Hans-Ulrich Bigler a été réélu président de l'association pour deux années supplémentaires.

Avant la présentation de Christophe Grudler (voir article suivant), la jeune pianiste Ekaterina Karpova, de la Haute école des arts de Berne, a joué des ballades de Frédéric Chopin. (M.A./C.B.)

# La politique énergétique européenne et suisse vue par Christophe Grudler

Lors de l'Assemblée générale du Forum nucléaire suisse, le député européen Christophe Grudler a soutenu les valeurs d'ouverture technologique, de promotion de l'innovation, et de collaboration. Selon lui, les objectifs climatiques et la sécurité d'approvisionnement imposent de recourir à l'énergie nucléaire.

Christophe Grudler, député européen français et coordinateur de la Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie du Parlement européen, est un fervent défenseur d'un tournant énergétique ouvert à l'ensemble des technologies et à une renaissance du nucléaire en Europe. Dans sa présentation lors de l'Assemblée générale du Forum nucléaire suisse, M. Grudler a dressé un tableau détaillé des développements actuels de la politique énergétique au niveau de l'UE dans une perspective de sécurité d'approvisionnement et de réalisation des objectifs climatiques, et a présenté le rôle joué par la Suisse au sein du marché européen de l'énergie.

## Un double impératif: décarbonation et sécurité d'approvisionnement

«L'Europe est aujourd'hui confrontée à un double défi: atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 [...] tout en garantissant sa sécurité d'approvisionnement», a estimé M. Grudler. Alors que le Pacte vert a fixé des objectifs d'émission ambitieux, la dépendance de l'Europe en matière d'énergie, qui atteint 70%, constitue un grave facteur de risque. La pandémie, les conflits géopolitiques et les pénuries d'approvisionnement ont mis en évidence la vulnérabilité du système. Pour Christophe Grudler, la solution réside dans la combinaison énergies renouvelables – énergie nucléaire. Les deux sont pauvres en émissions. Et l'énergie nucléaire a pour elle un avantage imbattable: «Le nucléaire est à peu près à quatre grammes de CO<sub>2</sub> par kilowattheure produit. Quand l'éolien est à 14 grammes, le solaire à 60 grammes, la biomasse à 200.»

## La taxonomie de l'UE, une avancée majeure pour le secteur nucléaire

Christophe Grudler parle de l'intégration de l'énergie nucléaire dans la taxonomie de l'UE avec une fierté palpable. «On a gagné un grand combat.» La taxonomie définit les investissements qui sont considérés comme durables – un instrument central pour orienter les capi-

taux vers des technologies essentielles pour le climat. «Et même l'Union européenne, en 2018, l'a reconnu: [...] si on n'avait pas 15% de nucléaire, on serait incapable d'atteindre les objectifs du Green Deal.» Malgré des oppositions, y compris au sein de la Commission de l'UE, le climat politique est bien plus positif. L'alliance nucléaire européenne compte désormais 15 États membres ainsi que plusieurs pays observateurs, tels que l'Italie, la Pologne, et le Danemark, lequel, d'après M. Grudler, a annoncé récemment avoir «renoncé au dogme anti-nucléaire».

La mise sur pied d'une alliance industrielle européenne pour les petits réacteurs modulaires, qui rassemble désormais plus de 400 entreprises européennes, tient particulièrement à cœur à Christophe Grudler. Pour lui, il est temps de renforcer l'autonomie européenne et d'éviter de nouvelles dépendances. La Suisse est invitée à se positionner en tant que partenaire, sans obligations formelles. Il est important, de son point de vue, de conserver la valeur ajoutée, l'innovation et la coopération industrielle au sein de l'Europe.

## La Suisse, entre sortie du nucléaire et rattachement à l'UE

M. Grudler a de la sympathie pour la Suisse – mais aussi des inquiétudes à son sujet. La loi sur l'énergie de 2017 interdit la construction de nouvelles centrales nucléaires, et l'exploitation à long terme des installations existantes n'est pas complètement sans poser problème sur le plan légal. Il a déclaré toutefois: «La Suisse ne semble pas être disposée à laisser tomber le nucléaire et il faudra trouver effectivement comment vous pouvez prolonger la durée de vie de vos centrales existantes en respectant ce texte de 2017 ou en abrogeant.» En matière de recherche et de formation, il estime que la Confédération est bien positionnée. Il met toutefois en garde contre une dépendance vis-à-vis des importations lorsque la production indigène est limitée: «Sans accès structuré au marché européen, la Suisse est contrainte de mobili-

ser plus de réserves nationales» – or cela a un coût et comporte des risques.

M. Grudler estime que le retour de la Suisse dans Euratom et dans le programme-cadre de l'Union européenne pour la recherche et l'innovation Horizon Europe sera déterminant. L'accès à Horizon est rétroactif au 1<sup>er</sup> janvier 2025, l'accès à Euratom est également prévu cette année, sous réserve de l'approbation finale du Conseil européen. Christophe Grudler a également salué les négociations concernant un nouvel accord sur l'électricité, qui rendra possible une intégration plus forte dans le marché européen – avec des avantages en matière de sécurité d'approvisionnement, de flexibilité et de stabilité des prix. Mais pour lui, une chose est certaine: lorsque l'on soutient l'énergie nucléaire, on doit aussi soutenir un

accord sur l'électricité avec l'UE. «Pour moi, les deux vont ensemble.»

### **Conclusion: l'avenir passera par l'ouverture technologique, et par l'Europe**

Christophe Grudler a conclu son intervention en expliquant que l'avenir de l'Europe repose sur la diversité technologique et la coopération internationale. Dans la liste actualisée des technologies propres de l'«Acte sur l'industrie Zéro-Net», la fusion et la fission font armes égales avec le solaire, l'éolien et les autres énergies renouvelables. «L'Europe veut rester un continent souverain, industriel et neutre en carbone – Et à mon sens, le nucléaire participe pleinement à cet effort.» (M.Re./C.B. d'après le discours de Christophe Grudler du 14 mai 2025)



Lors de l'Assemblée générale du Forum nucléaire suisse, le député européen Christophe Grudler a plaidé en faveur de l'énergie nucléaire et de la conclusion d'un accord sur l'électricité entre la Suisse et l'UE. (Photo: Forum nucléaire suisse)

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

Lors de la finale du concours national Science et Jeunesse, Johannes Stölzle s'est vu décerner le prix spécial Énergie pour son travail de stage intitulé «Modèle pour le choix d'une technologie de propulsion adaptée aux trains circulant sur la ligne Radolfzell–Friedrichshafen». C'est la troisième fois que le Forum nucléaire suisse sponsorise ce prix.

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

C'est pourquoi le Forum nucléaire a décidé en 2023 de décerner un prix spécial pour les travaux dans le domaine de l'énergie présentés lors du concours national

de la Fondation Science et jeunesse. Ce prix, qui était remis cette année pour la troisième fois, a été attribué à Johannes Stölzle. Le lauréat a été désigné par un jury d'experts lors d'une compétition très disputée qui s'est tenue le 26 avril 2025 à l'EPF de Zurich.

Johannes Stölzle a élaboré un modèle de calcul visant à déterminer la technologie de propulsion la mieux adaptée aux trains circulant sur la ligne Radolfzell–Friedrichshafen. Pour son étude, il a pris en compte trois technologies de propulsion – hydrogène, batterie électrique et diesel – et les a comparées sur une période de 30 ans afin de déterminer laquelle serait la plus avantageuse financièrement. Son analyse a montré que si le prix de l'électricité se maintient à long terme à un bas niveau, la batterie est la solution la meilleur marché, mais que si ce prix augmente, c'est l'hydrogène qui devient l'option la moins onéreuse. Le modèle est conçu de telle sorte qu'il permet, par une modification des paramètres, d'étudier les effets de différents facteurs sur le résultat. La comparaison s'est limitée aux coûts d'acquisition et de propulsion. Selon le jury d'experts, le travail de Johannes Stölzle se distingue par une approche réfléchie et minutieuse, ainsi que par le fait qu'il est très bien étayé sur le plan scientifique. Au vu du grand nombre de lignes ferroviaires secondaires qui ne sont pas électrifiées en Allemagne et dans d'autres pays d'Europe, l'objectif de ce travail est des plus pertinents. Il a valu la mention «très bien» à son auteur. (M.A./D.B.)



Johannes Stölzle – le lauréat du prix spécial Énergie du Forum nucléaire suisse – est félicité lors de l'assemblée générale.  
(Photo: Forum nucléaire suisse)

**Vidéo YouTube sur le projet:** «Modèle pour le choix d'une technologie de propulsion adaptée aux trains circulant sur la ligne Radolfzell–Friedrichshafen» (en suisse-allemand)



# Journée des doctorants du Center for Nuclear Engineering and Sciences du PSI

Le 13 mai, le Center for Nuclear Engineering and Sciences (NES) de l'Institut Paul-Scherrer (PSI) a organisé sa journée annuelle des doctorantes et doctorants. Au total, 33 participantes et participants ont présenté leurs travaux de recherche, qui ont ensuite été évalués par un jury. À l'issue de la journée, les quatre meilleures présentations ont été distinguées par un prix décerné par le Forum nucléaire suisse.

Le matin, les 33 doctorantes et doctorants ont été répartis en quatre groupes et ont présenté leurs travaux sous la forme d'une affiche à un jury. L'après-midi, les deux meilleurs travaux ont ensuite été présentés sous la forme d'un court exposé au public et au jury. La meilleure présentation de chaque groupe a été récompensée par un prix de 750 francs.

Le jury a décerné le prix du premier groupe à Benedetta Maria Buzzatti, qui a travaillé sur le thème «Creep properties assessment of outer liner cladding under intermediate dry storage conditions». La jeune chercheuse étudie au Laboratory for Nuclear Materials (LNM).

La gagnante du deuxième groupe était Antonella Mele, qui a travaillé sur l'«Advanced Modelling of PADC Detector for Accurate Neutron Dosimetry» et effectue des travaux de recherche au Department Radiation Safety and

Security (ASI) du PSI ainsi qu'à la School of Engineering de l'EPFL.

Dans le troisième groupe, Vladislav Zobnin du Laboratory of Radiochemistry (LRC) a remporté le prix pour son travail sur la «Thermosublimatography of Tellurium dissolved in Lead-Bismuth Eutectic (LBE): Transport Mechanisms and Moisture Effects».

Enfin, Noemi Cerboni, qui étudie au Laboratory of Radiochemistry (LRC), a remporté le prix du quatrième groupe pour son travail intitulé: «Enhancing Target Stability for Superheavy Element Production via Coupled Reduction».

Le Forum nucléaire suisse et le jury, conduit par le professeur Andreas Pautz, ont félicité les lauréates et le lauréat pour leurs travaux et présentations exceptionnels. (B.G./C.B.)



Photo de groupe avec les lauréates et le lauréat ainsi que deux membres du jury, de gauche à droite: Noemi Cerboni, Vladislav Zobnin, le professeur Andreas Pautz (chef NES), Benedetta Maria Buzzatti, Benedikt Galliker (Forum nucléaire suisse) et Antonella Mele. (Photo: PSI)

### 3<sup>e</sup> Rencontre du Forum

Myrto Tripathi, directrice du TerraWater Institute, donnera une présentation le jeudi **18 septembre 2025** au Palais de Rumine à **Lausanne**. Celle-ci sera suivie d'un podium de discussion avec de jeunes personnalités politiques de Suisse romande.



Photo: MyrtoTripathi sur X

### Cours d'approfondissement du Forum nucléaire suisse

«Sûre, efficace et tournée vers l'avenir – l'IA dans la branche nucléaire»

Le **jeudi 20 novembre 2025** à l'Ancien hôpital de Soleure



Photo: Ancien hôpital de Soleure

### Le Forum nucléaire et sa «Fanpage»

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

**[www.facebook.com/NuklearforumSchweiz](https://www.facebook.com/NuklearforumSchweiz)**

### 40<sup>e</sup> épisode de notre podcast «NucTalk»

Dans le nouvel épisode de notre Podcast, nous nous entretenons avec l'historienne Anna-Veronika Wendland, connue pour son engagement en faveur de l'énergie nucléaire. Nous nous interrogeons sur la meilleure manière de parler du nucléaire, nous abordons les différences géographiques dans les positions vis-à-vis du nucléaire, et aussi pourquoi les femmes ont un avis plus critique que les hommes. Nous proposons en outre des idées passionnantes pour la communication de la part et au sujet des centrales nucléaires.

**[www.nuctalk.ch](http://www.nuctalk.ch)**

### Encore deux apéritifs de la SOSIN en 2025

Les prochains apéritifs de la SOSIN seront organisés les jeudis **4 septembre** et **13 novembre**.

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

### 17<sup>e</sup> séminaire de base de la SOSIN

La Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN) prévoit d'organiser du **29 septembre au 2 octobre 2025** à Macolin son séminaire de base sur l'énergie nucléaire. Celui-ci comportera plusieurs modules (physique, politique et environnement, histoire, énergie, combustible, sûreté, radioactivité et accidents) ainsi qu'une visite de la centrale nucléaire de Gösgen.

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



Photo: SOSIN

## **Impressum**

### **Rédaction:**

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

### **Traduction:**

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

### **Éditeurs:**

Hans-Ulrich Bigler, président  
Lukas Aebi, secrétaire général

Forum nucléaire suisse  
Frohburgstrasse 20, 4600 Olten

Tél. +41 31 560 36 50  
info@nuklearforum.ch  
www.forumnucleaire.ch ou www.ebulletin.ch

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

Copyright 2025 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.

