

Septembre 2022

BULLETIN 3



Dépôt profond: la Nagra remet ses conclusions

Page 9

Gestion des déchets au Canada: la population a son mot à dire

Page 2

Hypocrisie autour de la taxonomie

Page 23

Un avenir énergétique juste en Afrique

Page 30

Table des matières

Éditorial

La Suisse a besoin de l'énergie nucléaire et elle gère ses déchets de manière responsable	1
---	---

Entretien avec...

La gestion des déchets nucléaires au Canada	2
---	---

Informations de fond

La Nagra propose le «Nord des Lägern» pour le dépôt en couches géologiques profondes	9
Plus le scénario est «vert», plus la part d'énergie nucléaire est grande	13
Médecine nucléaire: gros plan sur la production et l'utilisation des radionucléides	17

Décryptage

Réactions face à la taxonomie: deux poids deux mesures	23
--	----

Brèves nucléaires

En Suisse	26
À l'étranger	27

La der nucléaire

Pour une transition énergétique équitable en Afrique	30
--	----

Couac!

Le dilemme rouge-vert	35
-----------------------	----

Pour mémoire

	36
--	----

La Suisse a besoin de l'énergie nucléaire et elle gère ses déchets de manière responsable



Lukas Aebi

Secrétaire général du Forum
nucléaire suisse

L'histoire de l'énergie nucléaire en Suisse vient de s'enrichir d'un nouveau chapitre: la Nagra a dévoilé le nom du site pour lequel elle entend déposer une demande d'autorisation générale en vue de la construction d'un dépôt en couches géologiques profondes. Une annonce qui ne manquera pas de faire parler d'elle. Vous trouverez dans ce numéro de nombreuses informations de fond sur le sujet ainsi qu'un entretien avec l'une des cadres de la Société canadienne de gestion des déchets nucléaires (SGDN). Notre branche est l'une des rares à se préoccuper réellement de la gestion des déchets qu'elle produit et à appliquer le principe du pollueur-payeur. C'est l'une des choses dont je suis fier. Petite précision à l'intention de tous ceux qui profitent déjà de l'annonce de la Nagra pour critiquer une fois de plus l'atome: indépendamment de la production nucléaire d'électricité, la Suisse a de toute manière besoin d'un dépôt en profondeur pour les déchets issus de la médecine, de l'industrie et de la recherche, déchets que nous avons tous contribué à produire. La Finlande et la Suède ont montré la voie à suivre pour la création d'un dépôt en profondeur. Il nous appartient maintenant de faire en sorte que la Suisse rejoigne les rangs des pays capables de construire un tel dépôt. Assumons donc nos responsabilités et abordons ensemble la gestion des déchets.

Le 6 juillet 2022, le Parlement européen a classé l'énergie nucléaire parmi les investissements durables. C'est un grand succès pour la technologie nucléaire et un grand pas en avant pour le climat en général. De nombreux médias se sont offusqués de la prétendue foi aveugle en l'atome des institutions européennes, alors que les centrales au gaz, également classées comme durables alors qu'elles sont très nocives pour le climat, n'ont pratiquement essuyé aucune critique. Bon nombre de salles de rédaction semblent vouloir privilégier la critique du nucléaire par rapport à la protection du climat, pourtant urgente et indispensable. À nos yeux, c'est une raison suffisante pour procéder à un examen factuel de la décision de Bruxelles. Nous le faisons en nous appuyant sur une récente étude de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) relative au rôle possible de l'énergie nucléaire dans la transition vers des systèmes énergétiques bas carbone. Le fait est qu'aucun pays au monde n'est parvenu à réduire ses émissions de manière significative sans recourir à l'atome. L'exemple de l'Allemagne nous montre de manière saisissante ce qui se passe lorsqu'un pays arrête ses centrales nucléaires. Il recommence tout simplement à brûler des combustibles fossiles pour produire l'énergie en ruban nécessaire.

Nous espérons que ce nouveau numéro vous plaira. Que nos fidèles lecteurs n'hésitent pas à nous faire part de leurs remarques critiques, commentaires et autres réactions!

La gestion des déchets nucléaires au Canada



Lisa Frizzell

Responsable de la communication à la Société de gestion des déchets nucléaires canadienne (SGDN)

La Société de gestion des déchets nucléaires canadienne (SGDN) a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre le plan canadien pour la gestion à long terme du combustible nucléaire usé. Également connu sous la dénomination de Gestion adaptative progressive (GAP), ce plan prévoit de confiner et d'isoler les déchets en question dans un dépôt en couches géologiques profondes. Très complète, la procédure de sélection du site repose sur le consentement éclairé de collectivités hôtes dûment informées qui participent volontairement au projet.

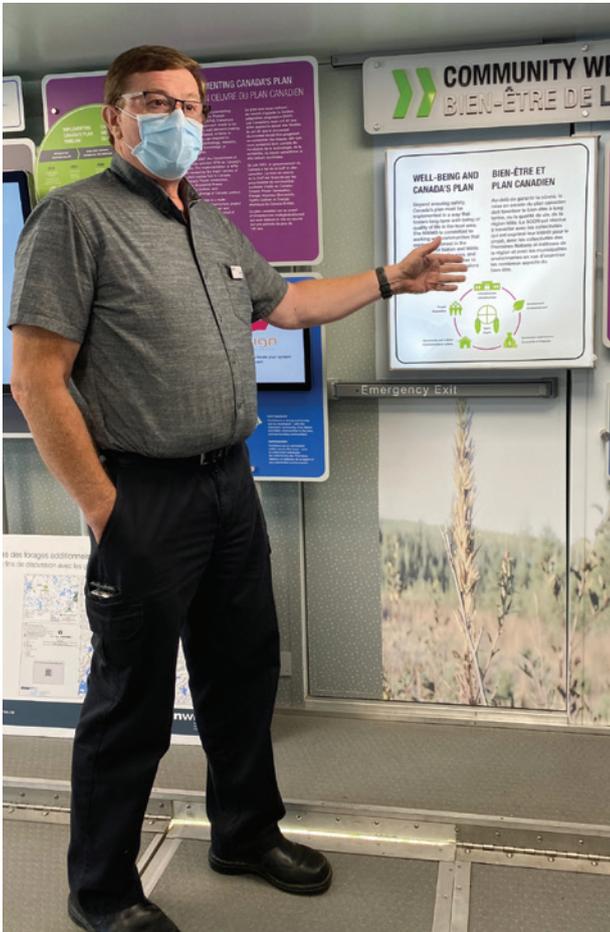
Lisa Frizzell, comment se déroule la recherche d'un site de dépôt en couches géologiques profondes au Canada et quels progrès la SGDN a-t-elle déjà accomplis?

La SGDN a lancé la procédure de recherche de site en 2010. Dès le départ, elle s'est engagée à réaliser le projet dans une région où il serait vu d'un bon œil par les col-

lectivités concernées, et ce de manière intégrative, respectueuse et propre à favoriser le bien-être actuel et futur de la population locale. La participation se fait sur une base volontaire – nous n'avons travaillé que là où une collectivité nous avait communiqué de façon proactive son souhait d'être informée au sujet du projet et d'explorer l'aptitude de sa région à accueillir un dépôt de déchets radioactifs en couches géologiques profondes.

Lisa Frizzell est l'une des vice-présidentes de la Société de gestion des déchets nucléaires canadienne (SGDN), où elle est responsable de la communication. Avant de rejoindre la SGDN en 2012, elle a travaillé pour un certain nombre d'organisations privées, universitaires et gouvernementales au Canada et aux États-Unis, ce qui lui a permis d'acquérir une vaste expérience en tant que responsable de la communication, principalement dans le secteur de l'énergie. Son domaine de prédilection est la communication stratégique.

En 2012, 22 collectivités nous avaient officiellement fait part de leur intérêt, pour ensuite intégrer la procédure de recherche de site. Depuis lors, nous avons lancé un processus graduel comportant des études techniques et un engagement social de plus en plus intenses qui nous a permis de réduire à deux le nombre de sites potentiels. Le premier se trouve sur le territoire traditionnel de la Nation ojibwée du lac Wabigoon, près d'Ignace, dans la partie nord-ouest de l'Ontario; le second est situé sur le territoire traditionnel de la Nation ojibwée de Saugeen à South Bruce, dans le sud de l'Ontario. Nous avons de bonnes raisons de penser qu'un dépôt en profondeur sûr peut être construit aux deux endroits.



Le centre mobile d'information de la SGDN a fait halte sur le territoire traditionnel de la Nation ojibwée de Saugeen à South Bruce. Des représentants de la SGDN ont ainsi pu donner des informations, répondre aux questions et prendre note des remarques et des préoccupations du public. (Photo: SGDN)

Est-il prévu de stocker tous les assemblages combustibles usés dans un seul et même dépôt en couches géologiques profondes? Quelles sont les prochaines étapes?

Le plan canadien de création d'un dépôt en couches géologiques profondes prévoit de confiner et d'isoler l'ensemble de ces déchets dans un seul et même dépôt en couches géologiques profondes. Il s'agit d'un projet d'infrastructure environnementale portant sur plusieurs générations, et dont la mise en œuvre s'étendra sur une période d'environ 175 ans. Ses principales phases sont la sélection du site, l'homologation, la construction, l'exploitation et, un jour, la désaffectation.

La sélection du site aura vraisemblablement lieu l'année prochaine (à ce sujet, voir l'encadré de la page 8). Le processus décisionnel des autorités prendra environ une dizaine d'années. Notre objectif est de commencer la construction au début des années 2030, et l'exploitation au début des années 2040. Sur les 175 ans évoqués plus haut, le transport, les préparatifs du stockage et le placement du combustible usé dans le dépôt prendront vraisemblablement jusqu'à 50 ans. La durée nécessaire dépendra du nombre d'assemblages. Le dépôt sera ensuite mis en observation pendant une période relativement longue avant d'être fermé, scellé et placé sous surveillance dans le cadre de la phase de post-fermeture.

En quoi la géologie des deux sites potentiels en lice (Ignace et South Bruce) est-elle particulièrement adaptée à un dépôt en couches géologiques profondes?

Permettez-moi tout d'abord de relever que la sûreté est notre première priorité. C'est le fondement de tout ce que nous faisons, du dimensionnement du projet à la prise en compte du savoir des peuples autochtones en passant par la technologie, la recherche environnementale et l'intégration des communautés locales.

Les deux sites en question présentent des caractéristiques globalement favorables à la sûreté du projet. En voici quelques-unes:

- Sur les deux sites, la roche, large et profonde, présente un volume suffisamment important pour isoler de façon sûre le dépôt de tout ce qui se passe à la surface de la Terre, que ce soit en raison des activités humaines ou d'événements naturels.
- Sur les deux sites, on a constaté qu'il n'y avait pratiquement pas d'eau courante dans la roche. Et le peu d'eau qui y est présent ne circule que très lentement. Il peut s'écouler 1000 ans avant que l'eau ne se déplace, ne serait-ce que d'un mètre, à travers la roche.
- Les deux sites sont situés dans des zones stables et sismiquement calmes. Rien n'indique que des taux extrêmes d'érosion, de soulèvement ou d'affaissement ayant pour effet de modifier considérablement la géosphère au cours des prochains millions d'années sont susceptibles de s'y produire. →

- Nous partons du principe que la roche, associée aux barrières techniques des deux sites, est en mesure de confiner le combustible usé à long terme.
- Aucune ressource économiquement exploitable (comme l'eau, les minéraux, le gaz, le sel, etc.) n'est connue. Comme il n'y a aucune raison de forer, le risque d'intrusion humaine dans le dépôt est faible.
- De plus, il existe une infrastructure régionale qui favorise la construction, l'exploitation et la fermeture sûres du dépôt.

Quel est l'état des connaissances au sujet des deux sites? Sur quoi les études menées au cours des dix dernières années ont-elles porté et y a-t-il encore des incertitudes?

Après plus d'une décennie d'études techniques, l'équipe de scientifiques et d'ingénieurs de la SGDN est confiante dans la possibilité de construire un dépôt sûr pour les assemblages combustibles usés dans au moins un des deux sites potentiels. La confiance de la SGDN repose sur sa compréhension approfondie de plusieurs facteurs clés tels que:

- la géologie de la roche dans laquelle le dépôt en profondeur sera construit et celle des couches adjacentes;
- les interactions entre la roche et les barrières techniques qui garantissent la rétention du combustible usé dans le dépôt en profondeur;
- la sûreté de la construction, de l'exploitation et de la fermeture du dépôt en profondeur;
- la sûreté du transport du combustible usé vers le site de stockage en profondeur;
- le respect de toutes les exigences des autorités concernant l'installation;
- le risque minime d'intrusion humaine dans le dépôt en profondeur.

Des recherches supplémentaires doivent toutefois encore être menées. Les incertitudes qui subsistent ne concernent pas tant l'aptitude fondamentale de la roche à accueillir et à confiner de manière sûre les assemblages combustibles usés, mais plutôt l'acquisition et la documentation d'une connaissance quantitative approfondie du site, en d'autres termes sa caractérisation. Nous tenons compte des incertitudes dans notre planification, et il existe des plans pour les lever au moyen des



Une jeune femme visite l'exposition interactive du «Learn More Center» mise en place à Ignace par la SGDN à l'intention de la Nation ojibwée du lac Wabigoon. (Photo: SGDN)

travaux de caractérisation détaillés à mener. La conception des installations, de surface et souterraines, se poursuivra pendant la phase de caractérisation du site.

Récemment, après plus de huit ans de préparation, nos équipes techniques ont réalisé avec succès une démonstration à l'échelle 1:1 de notre système de barrières techniques. Pour ce faire, nous avons placé des conteneurs à combustibles usés dans une réplique grandeur nature d'une salle de stockage souterraine du dépôt, puis en avons comblé le vide résiduel. Les résultats vont maintenant être analysés en détail afin d'améliorer encore notre conception du dépôt.

Quel est le plus grand défi posé par la recherche d'un site de dépôt en couches géologiques profondes au Canada, et la création d'un tel dépôt suscite-t-elle des résistances?

Au Canada, nous avons eu la chance que de nombreuses collectivités aient non seulement manifesté leur intérêt, mais aussi participé activement au processus de sélection

tion du site. Le plan canadien ne se poursuivra que dans les régions où les collectivités hôtes ont donné leur consentement éclairé, et où la municipalité, les communautés des Premières Nations et des Métis ainsi que d'autres intervenants régionaux collaborent à sa mise en œuvre. En d'autres termes, les gens doivent comprendre ce que signifie l'accueil d'un tel projet, et le soutenir lorsqu'il s'installe dans leur région.

Nous avons appris qu'on n'arrive pas à une telle approche commune d'un jour à l'autre. De par sa complexité, ce projet est unique en son genre au Canada, voire en Amérique du Nord. Les gens ont besoin de temps pour se familiariser avec le projet et voir s'il est adapté à leur région. Et il nous a aussi fallu du temps et des efforts pour comprendre où le projet pourrait convenir et comment en concevoir la mise en œuvre afin de favoriser le bien-être des personnes vivant dans la région d'implantation du dépôt. En collaborant avec les communautés, nous nous sommes non seulement familiarisés avec leurs connaissances en matière de géologie et d'environnement, mais avons aussi acquis une meilleure compréhension de leurs buts, souhaits, questionnements et inquiétudes. Nous avons organisé des milliers de journées portes ouvertes et de séances d'information, colla-

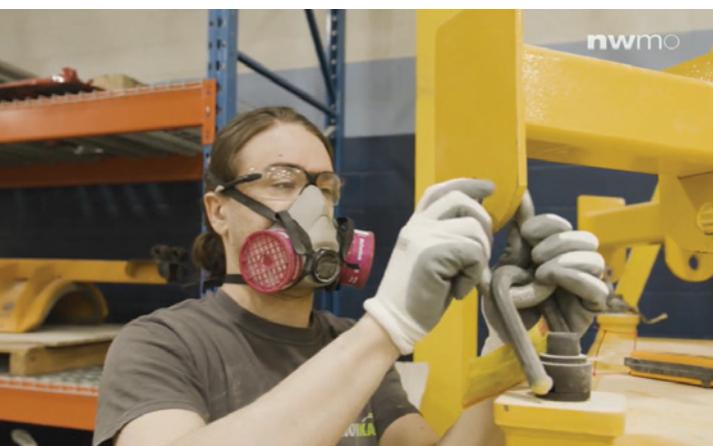
boré avec des comités de liaison locaux, écouté et répondu aux questions, et tenté de comprendre les préoccupations afin de pouvoir en tenir compte de manière judicieuse dans le projet.

Pour vous donner un exemple, nous menons actuellement une série d'études dans les deux régions d'implantation potentielles en nous fondant sur les questions que les communautés nous ont posées et qui sont importantes pour elles. Ces études fournissent aux communautés concernées des informations inestimables pour leur prise de décision. Les résultats couvrent un large éventail de sujets, allant de la création d'emplois aux opportunités pour les entreprises locales, en passant par l'amélioration des infrastructures et la formation professionnelle.

Dans quel contexte cette intégration très poussée des populations autochtones a-t-elle eu lieu?

Le plan canadien de recherche de site est né dans le cadre d'un vaste dialogue avec les Canadiens et les peuples autochtones de l'ensemble du pays. Il reflète les valeurs et les priorités qui sont importantes pour eux. La procédure de recherche de site, en particulier, a été élaborée dans le cadre d'un dialogue avec le public. Elle reflète les idées, l'expérience et les conseils avisés d'une grande partie de la population (Canadiens et peuples autochtones), qui a réfléchi aux éléments qu'un processus de recherche de site devait contenir pour être à la fois ouvert, transparent, équitable et intégratif. La procédure a été conçue de telle manière que le site choisi offre sûreté et protection, mais qu'elle ne puisse se poursuivre qu'avec le consentement éclairé de collectivités dûment informées.

La prise en compte des intérêts, des préoccupations et des conseils des peuples autochtones a constitué dès le départ une composante essentielle du travail de la SGDN. Cette prise en compte a commencé avec notre recherche de solutions pour la gestion à long terme du combustible usé canadien et s'est poursuivie au travers de tous les aspects de la mise en œuvre du plan. Nous nous sommes engagés à intégrer le savoir indigène dans notre travail, et nous avons constaté que ce dernier s'en trouvait amélioré. Nous nous employons



Lors de l'essai de stockage à l'échelle 1:1, la SGDN a testé et démontré avec succès la faisabilité du confinement sûr du combustible usé par un système de barrières techniques.
(Photo: SGDN)

à appliquer les connaissances des indigènes aux aspects sécuritaires de la recherche de site et au bien-être de la communauté. Ainsi, nous organisons régulièrement des ateliers sur le savoir indigène et la science occidentale, lors desquels nous essayons de faire dialoguer ces formes de savoir et d'établir des relations entre les conclusions issues de chacune d'entre elles, par exemple pour la protection des eaux et de l'environnement ou pour l'approfondissement de notre compréhension de la roche et de la géologie des domaines d'implantation.

Par notre travail avec les communautés des Premières Nations et des Métis, nous nous employons à déterminer comment le projet pourrait être bénéfique pour chacune des régions entrant en ligne de compte. Dans ce contexte, nous respectons les droits qui sont ceux des populations autochtones en vertu des traités conclus, et nous reconnaissons ces droits comme cadre de cohabitation et d'utilisation commune des territoires qu'ils habitent traditionnellement. Les traités en question constituent la base de toute coopération et de tout partenariat à venir, étant entendu qu'en parallèle, nous travaillons ensemble à la réconciliation. Il s'agit de construire et de maintenir une relation de respect mutuel entre les peuples autochtones et non autochtones du Canada. Pour ce faire, il faut être conscient du passé, reconnaître les injustices qui ont été commises, et en éliminer les causes en prenant des mesures pour changer les comportements.

Tandis que nous progressons dans la mise en œuvre du plan de gestion de déchets, nous renforçons l'engagement de notre organisation en faveur de l'établissement de relations respectueuses et de la reconnaissance de la vision du monde des peuples autochtones. La SGDN est fermement décidée à intégrer le savoir autochtone dans tous ses travaux et à parcourir le chemin menant à la réconciliation côte à côte avec les populations autochtones. Dans le cadre de la réconciliation, la SGDN reconnaît les injustices commises au Canada par le passé et travaille à créer un avenir meilleur en relevant les défis qui se posent aujourd'hui. Nous avons intégré dans nos activités les connaissances en matière de gestion et de gouvernance des gardiens du savoir autochtone.

Comment expliquez-vous qu'autant de collectivités aient manifesté leur intérêt pour un dépôt en couches géologiques profondes?

Pas moins de 22 collectivités se sont manifestées pour déterminer leur potentiel en tant que site d'implantation de ce projet national d'infrastructure environnementale, et nous en sommes très fiers.

Nous ne pouvons certes pas parler au nom des collectivités qui se sont manifestées, mais bon nombre des raisons qu'elles ont invoquées pour expliquer leur intérêt sont parvenues à nos oreilles. Beaucoup pensaient qu'elles avaient quelque chose à offrir, par exemple des compétences et des connaissances dans le domaine de l'exploitation minière ou du cycle du combustible nucléaire. Beaucoup ont vu la possibilité d'atteindre des objectifs correspondant aux aspirations de leurs communautés, telles que l'augmentation des possibilités d'emploi local pour les jeunes. Beaucoup ont exprimé d'une part un fort sentiment de reconnaissance pour l'électricité dont nous avons tous bénéficié et d'autre part le souhait de ne pas transmettre aux générations



Le Conseil des aînés et des jeunes de la SGDN se réunit pour la première fois après une pause de deux ans due à la pandémie de Covid-19. (Photo: SGDN)

futures le fardeau de la gestion du combustible usé résultant de la production de ce courant. Ces réactions vont dans le même sens que celles reçues lors de l'élaboration du plan.

En outre, le plan canadien est un projet national d'infrastructure environnementale qui apportera des avantages pérennes, contribuant au bien-être à long terme de la région choisie et à la sécurité des générations futures. Dès le début, nous nous sommes engagés à mettre en œuvre le projet de manière qu'il contribue au bien-être des populations locales, tel que les communautés le définissent elles-mêmes. Et la longue durée du projet nous permet de travailler avec les communautés pour le planifier de telle façon qu'il corresponde directement aux objectifs et aspirations qui sont les leurs.

Comment la SGDN gère-t-elle un projet qui porte sur plusieurs générations et dont une bonne partie des personnes qui y travaillent actuellement ne verra pas la fin?

Le plan canadien est un projet intergénérationnel qui s'étend sur plusieurs décennies. Tant les Canadiens que les peuples autochtones sont d'avis qu'il est de notre responsabilité d'agir maintenant pour éviter aux générations futures d'être confrontées au problème des déchets que nous avons produits. C'est pourquoi la SGDN et les communautés des régions d'implantation ont fait de l'intégration des jeunes une priorité en matière de participation, d'apprentissage et de développement des compétences. Les jeunes d'aujourd'hui seront les dirigeants, les employés, les petits entrepreneurs, les agriculteurs et les voisins qui, demain, contribueront à la prospérité et au bien-être de leurs communautés.

Dans le cadre de la mise en œuvre du plan canadien, nous continuerons à travailler avec des personnes de toutes les générations, par exemple avec notre Conseil des aînés et des jeunes, un organe consultatif qui favorise le partage des connaissances entre les générations.

L'un des principes essentiels du plan canadien est la prise en compte des nouvelles connaissances. Nous adaptons le plan au progrès technique, aux meilleures pratiques internationales, aux contributions du public, au savoir autochtone, aux changements dans les poli-

tiques publiques et à l'évolution des attentes et valeurs de la société.

Qui finance les dépôts en profondeur au Canada?

L'élaboration et la mise en œuvre du plan canadien de gestion à long terme du combustible usé sont financées par les propriétaires des déchets en question, à savoir Ontario Power Generation, New Brunswick Power, Hydro-Québec et Atomic Energy of Canada Limited. En vertu de la loi sur les déchets de combustible nucléaire (LDCN), chacune de ces quatre sociétés est tenue de mettre en place des fonds fiduciaires gérés de manière indépendante afin de garantir que les sommes nécessaires au financement du plan soient disponibles en cas de besoin. En 2002, ces entreprises ont notamment fondé la SGDN, organisation à but non lucratif.

Les consommateurs qui ont bénéficié de l'électricité nucléaire participeront ainsi au fil du temps à la gestion à long terme des déchets résultant de la production de ce courant. Les coûts de la gestion à long terme du combustible usé ne représentent toutefois qu'une part relativement faible des coûts de l'électricité, à savoir environ 0,1 cent canadien par kilowattheure d'électricité produit. (B.G/D.B.) →

Pour en savoir plus:



Site Internet du plan canadien



Site Internet sur le savoir autochtone

Informations de fond sur la roche d'accueil et les déchets de faible et moyenne activité

Roche d'accueil: c'est là que sera un jour construite la partie souterraine du dépôt en couches géologiques profondes, qui comprend les salles et les galeries de stockage. Dans la région d'Ignace (nord-ouest de l'Ontario), la SGDN étudie des roches granitiques du Bouclier canadien situées dans la partie nord d'une formation rocheuse appelée batholite de Revell, qui date de l'Archéen. Dans la région de South Bruce (sud de l'Ontario), la SGDN étudie comme roche d'accueil la Formation de Cobourg, un calcaire argileux de l'Ordovicien.

Déchets de faible et moyenne activité: les déchets de faible et moyenne activité produits au Canada sont actuellement stockés dans des dépôts intermédiaires sûrs. Ils sont eux aussi soumis au principe du pollueur-payeur, et leurs propriétaires – c'est-à-dire les centrales nucléaires qui les produisent – sont tenus de rendre des comptes et d'assumer leurs responsabilités. Le gouvernement canadien poursuit le développement de sa stratégie en matière de gestion des déchets. Un document sur le sujet a été mis en consultation publique et devrait être finalisé d'ici fin 2022.

En outre, le ministre canadien des Ressources naturelles a chargé en 2021 la SGDN d'élaborer une stratégie intégrée pour les déchets radioactifs (Integrated Strategy for Radioactive Waste, ISRW) visant à garantir que des solutions de gestion à long terme seront trouvées pour tous les déchets radioactifs du pays, y compris ceux de faible et de moyenne activité, et que ces déchets seront gérés selon les meilleures pratiques internationales. Pour ce faire, la SGDN table sur les plus de 20 ans d'expérience acquis dans le cadre du plan canadien pour la gestion du combustible usé. Contrairement à la Suisse, le Canada possède également des déchets issus de l'extraction de l'uranium.

Le choix du site reporté à 2024

Quelque temps après l'interview, la SGDN a annoncé qu'en raison des effets de la pandémie de Covid-19, elle ne s'attendait à pouvoir se prononcer sur le site à privilégier pour la construction d'un dépôt en couches géologiques profondes que vers la fin 2024. Auparavant, elle avait pensé pouvoir prendre cette décision dans le courant de l'année prochaine.

«Compte tenu de la complexité et du caractère intergénérationnel du projet, nous nous sommes toujours attendus à devoir nous adapter en cours de processus, tout en gardant à l'esprit la perspective à long terme», a expliqué la SGDN. «Plusieurs confinements survenus dans des provinces ont eu un impact sur notre travail, comme sur celui d'autres organisations et entreprises».

Lise Morton, la vice-présidente de la SGDN en charge de la recherche de site, a indiqué que son organisation «avait connu des retards importants dans ses activités de concertation et d'interaction en présentiel, en particulier dans les collectivités qui explorent leur aptitude à accueillir le projet. Apporter ce petit ajustement à notre calendrier nous donnera également, à nous et aux collectivités hôtes potentielles, du temps supplémentaire pour examiner et absorber de nouvelles informations pendant qu'elles détermineront si la venue du projet sera conforme à leur vision et à leurs priorités».

La SGDN estime que ce report ne devrait pas avoir d'incidence sur le calendrier global du plan canadien. La construction du dépôt devrait toujours commencer en 2033 et son exploitation au début des années 2040.

La Nagra propose le «Nord des Lägern» pour le dépôt en couches géologiques profondes

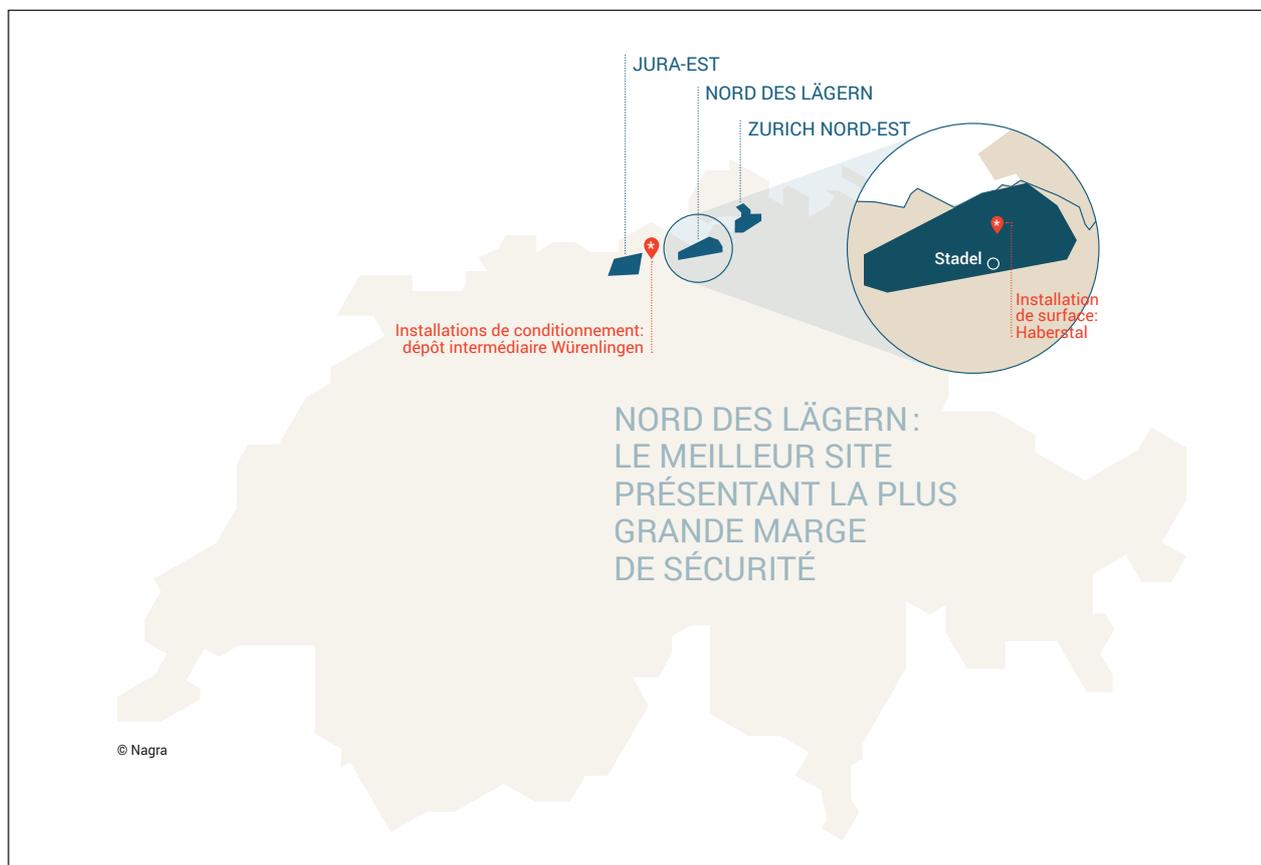
Afin de protéger les générations à venir, les déchets radioactifs de la Suisse doivent être confinés dans un dépôt en profondeur. La région qui s'avère la plus sûre est le Nord des Lägern. C'est la conclusion à laquelle la Nagra est parvenue à l'issue de plusieurs dizaines d'années de recherches et d'investigations.

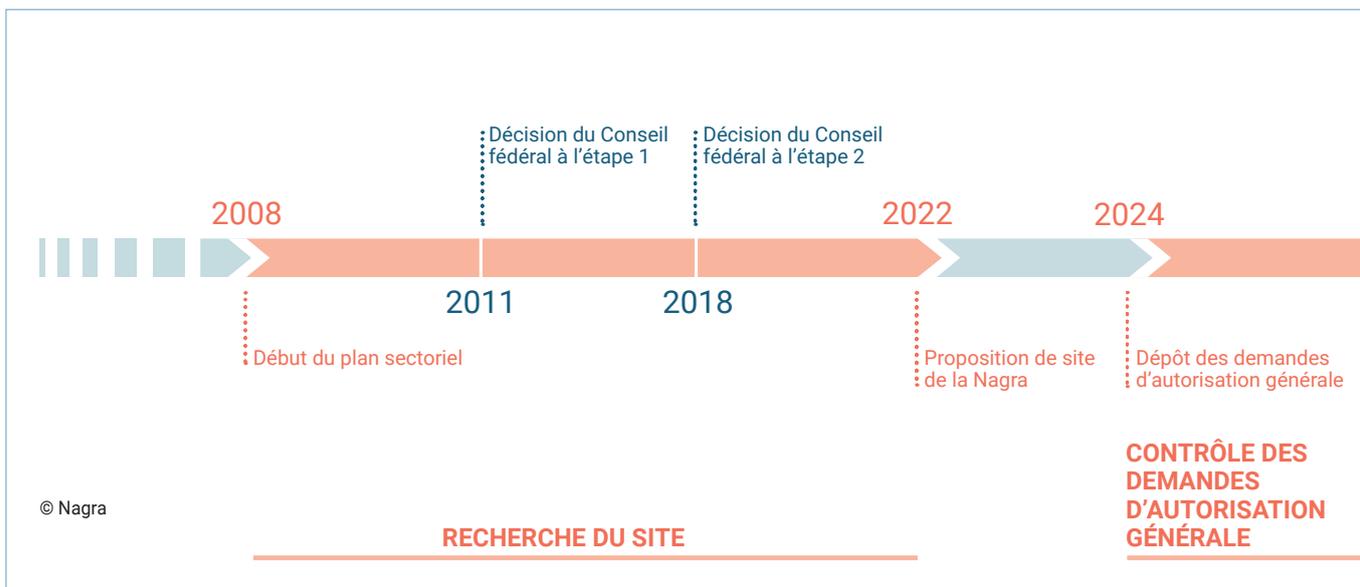
Le projet du siècle que constitue le dépôt en couches géologiques profondes franchit aujourd'hui une étape importante: la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) propose le Nord des Lägern comme site pour la construction d'un dépôt en profondeur. Cette proposition repose sur plusieurs dizaines d'années de recherches et d'investigations.

La région d'implantation dénommée Nord des Lägern est située dans l'Unterland zurichois, dans le nord de la Suisse. L'accès au dépôt en profondeur, avec les installa-

tions de surface, devrait être réalisé au lieu-dit «Habers-tal», sur le territoire de la commune zurichoise de Stadel. Les installations de conditionnement des déchets radioactifs sont prévues par la Nagra à proximité du dépôt intermédiaire existant (Zwilag), à Würenlingen, dans le canton d'Argovie.

«Le cœur du dépôt en profondeur est constitué par l'argile à Opalinus», souligne Matthias Braun, CEO de la Nagra. C'est dans cette couche rocheuse que le dépôt sera implanté. Car au cours des 175 derniers millions d'années, il ne s'y est strictement «rien passé». Et c'est





Un long chemin: de nombreuses années s'écouleront encore avant le stockage des déchets radioactifs dans le dépôt. Selon le calendrier actuel, la fermeture de l'installation est prévue en 2125.

précisément en raison de cette monotonie que l'on peut, selon Matthias Braun, réaliser «des prévisions solides et fiables pour le prochain million d'années». Cette couche d'argile à Opalinus, à même d'accueillir un dépôt en profondeur, est présente dans les trois domaines d'implantation. C'est toutefois le Nord des Lägern qui offre les plus grandes marges de sécurité.

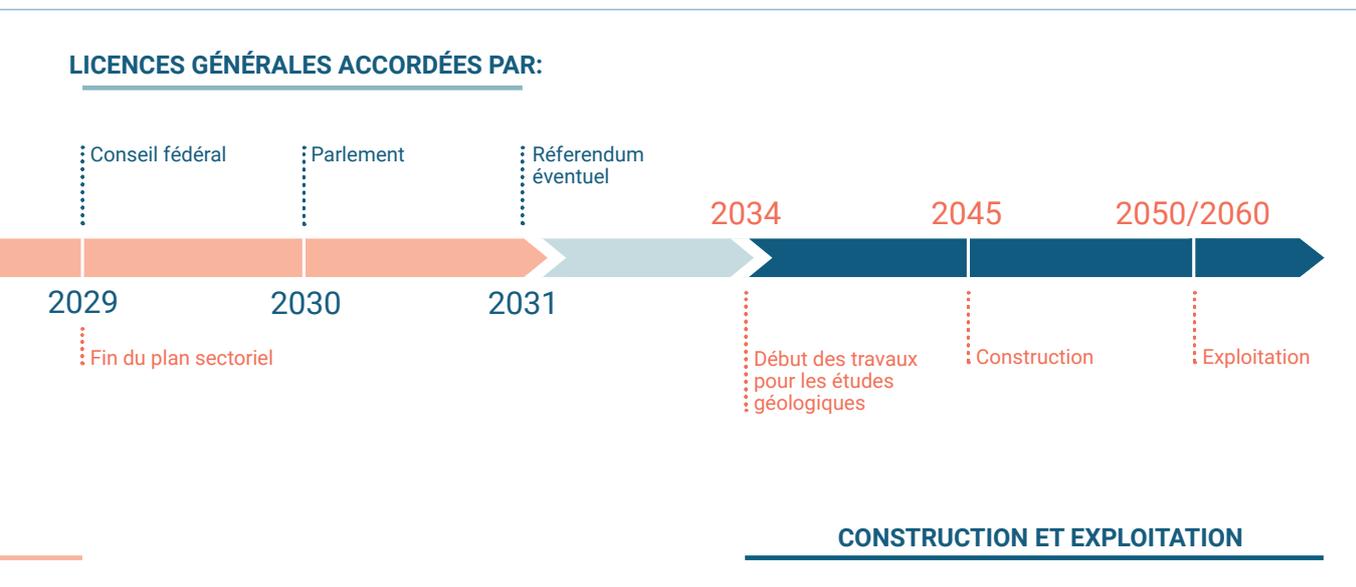
Deux cantons, un projet du siècle

Trois arguments parlent en faveur de la région du Nord des Lägern pour l'implantation du dépôt en couches géologiques profondes: premièrement, c'est là que les couches rocheuses profondes confinent le mieux les déchets radioactifs. En effet, la Nagra a mis en évidence de l'eau interstitielle âgée de plusieurs millions d'années. C'est là que cette capacité de confinement est la plus élevée.

Deuxièmement, les roches du Nord des Lägern confinent les déchets efficacement non seulement aujourd'hui, mais aussi dans un avenir lointain, grâce à leur stabilité à long terme. Le paysage va évoluer en surface, mais pas en profondeur: c'est dans cette région que la

roche accueillant le dépôt en profondeur sera la mieux protégée de l'érosion de surface. Et troisièmement, c'est dans le Nord des Lägern que l'on trouve le plus grand volume continu de roche d'accueil, ce qui offre la plus grande flexibilité pour l'aménagement du dépôt.

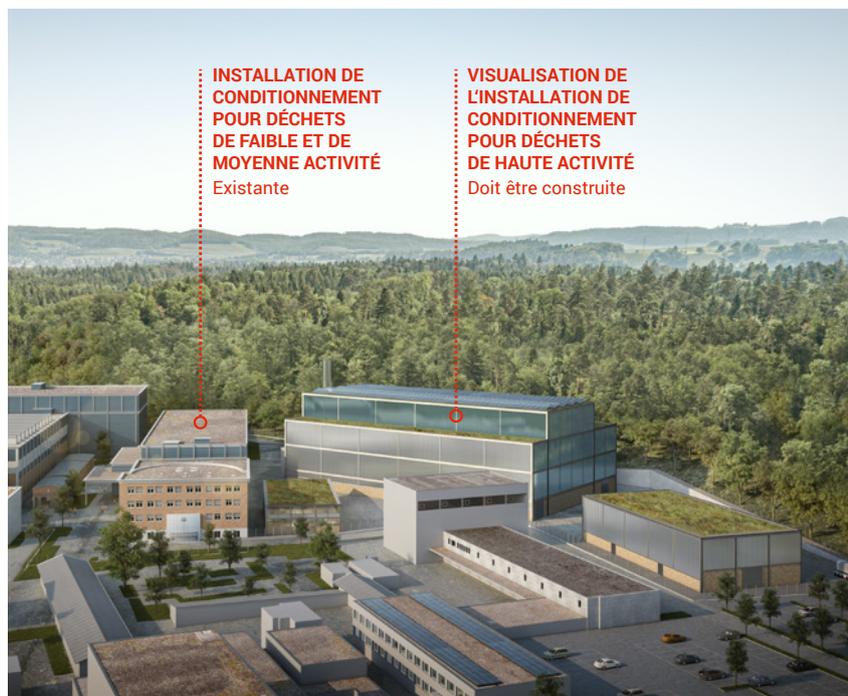
À côté du dépôt en profondeur, il faudra également des infrastructures en surface. Celles-ci seront réalisées au lieu-dit Haberstal, dans la commune zurichoise de Stadel. La Nagra gèrera le dépôt en profondeur depuis là. Cet emplacement a été déterminé conjointement avec le canton de Zurich. Par ailleurs, des installations seront également nécessaires pour le conditionnement des déchets dans des conteneurs de stockage. Ces installations de conditionnement ne seront pas réalisées à proximité immédiate du dépôt en profondeur, mais près du dépôt intermédiaire à Würenlingen (Zwilag), dans le canton d'Argovie. Comme le relève Matthias Braun, «Le Zwilag est déjà une installation nucléaire, avec du personnel qualifié, ce qui nous permettra de profiter de leur expérience et des bâtiments existants, et de mobiliser des synergies.» Cela diminue également l'empreinte écologique, en réduisant le défrichage et les terrassements nécessaires.



En principe, les déchets radioactifs pourraient aussi être stockés dans deux dépôts séparés, situés dans deux régions différentes: l'un pour les déchets de faible et de moyenne activité, l'autre pour les déchets de haute activité. La Nagra propose toutefois la réalisation d'un dépôt combiné, à même d'accueillir tous les types de déchets radioactifs. Un dépôt combiné est tout aussi sûr que deux dépôts séparés, mais plus écologique et économique.

Déterminer pas à pas le site le plus sûr

Le choix du site a été précédé par un long processus scientifique. Le principe du dépôt en couches géologiques profondes est ancré dans la législation, comme solution pour la gestion à long terme des déchets radioactifs. La Confédération supervise la recherche du site, qui a commencé par une «page blanche». Dans ce cadre, la priorité absolue est toujours allée à la sécurité des personnes et de l'environnement. Dans une première étape, la Nagra a évalué des régions et des roches potentielles dans toute la Suisse, et a identifié six régions d'implantation possibles. Dans une deuxième étape, ces régions ont été comparées entre elles. Parallèlement, des aires pour les installations de surface ont



Voici à quoi pourraient ressembler, un jour, les installations de conditionnement. (Photo: Nagra)

également été définies. À la fin de cette étape, en 2018, le Conseil fédéral a chargé la Nagra de procéder à des investigations approfondies dans trois régions: Jura-est, Nord des Lägern et Zurich nord-est.

Au cours de la troisième étape, ces trois régions d'implantation ont fait l'objet d'investigations approfondies. Au moyen de neuf forages profonds, la Nagra a recueilli, ces trois dernières années, une grande quantité de données scientifiques. Au total, 10'000 mètres de roches ont été forés, plus de 6000 mètres de carottes ramenés à la surface et 4000 échantillons de roche analysés en laboratoire. Parallèlement, des campagnes sismiques 3D (que l'on peut comparer à des échographies à grande échelle) ont permis d'avoir une image détaillée du sous-sol. C'est sur la base de ces résultats que la Nagra a élaboré sa proposition de site.

«Notre première évaluation était trop pessimiste»

En proposant le Nord des Lägern, la Nagra a également révisé sa propre évaluation. À l'issue de la deuxième étape du plan sectoriel, la Nagra avait argué, en 2015, que le Nord des Lägern convenait moins bien que les deux autres régions pour des raisons géotechniques. L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) a alors demandé à la Nagra d'effectuer des investigations complémentaires. Ce que la Nagra a fait en mobilisant des moyens importants, comme le confirme Matthias Braun. Aux nouvelles informations compilées à cette occasion s'ajoute le fait que la Nagra a entre-temps opté pour l'utilisation de voussoirs – des éléments de soutènement en béton préfabriqués – qui simplifient la construction de galeries à grande profondeur.

Et Matthias Braun de conclure: «Aujourd'hui, nous pouvons dire que notre première évaluation était trop pessimiste.» On en a tiré deux enseignements: d'une part, les critiques constructives permettent d'améliorer le projet, et d'autre part, le partage des rôles dans la procédure du plan sectoriel a très bien fonctionné.

Dix, cent et un million d'années

Après plusieurs dizaines d'années de recherches et investigations, la Suisse entame une nouvelle phase dans ce projet du siècle. Au cours des deux prochaines années, la Nagra élaborera les demandes d'autorisation générale et les déposera auprès de la Confédération. Les autorités et

des groupes d'experts examineront alors ces demandes, avant que le Conseil fédéral et le Parlement se prononcent sur celles-ci. Si un référendum est lancé et aboutit, c'est le peuple qui aura le dernier mot. Ce sera alors vers 2031.

Les premiers travaux de construction pourraient commencer vers 2034. Les premiers déchets de faible et de moyenne activité pourraient être emmagasinés dès 2050, les déchets de haute activité à partir de 2060. Selon le calendrier actuel, la fermeture du dépôt en profondeur est prévue en 2125.

Les autorités demandent à la Nagra de poursuivre ses recherches et de tenir compte des progrès technologiques jusqu'à la fermeture du dépôt, dans plus d'une centaine d'années. Même si les experts de la Nagra sont convaincus de pouvoir construire, aujourd'hui déjà, un dépôt en profondeur en toute sécurité, il sera toujours possible de l'optimiser: la technologie ne cesse d'évoluer, et ces progrès doivent être mis à profit. À titre d'exemple, le conteneur de dépôt destiné aux déchets de haute activité est conçu pour demeurer étanche pendant au moins 10'000 ans – soit dix fois plus longtemps que ne l'exige la loi. Les spécialistes de la Nagra continuent malgré tout de rechercher comment optimiser encore ce conteneur.

Ce sont là des dimensions temporelles impressionnantes. L'horizon de temps à prendre en compte pour la conception du dépôt en profondeur a été fixé à un million d'années. Si l'on considère que la Nagra mène ses recherches et investigations depuis cinquante ans et que le dépôt en profondeur ne sera fermé que dans une centaine d'années, on se rend compte qu'il s'agit clairement d'un projet plurigénérationnel. Un projet qui vient d'atteindre une étape décisive.

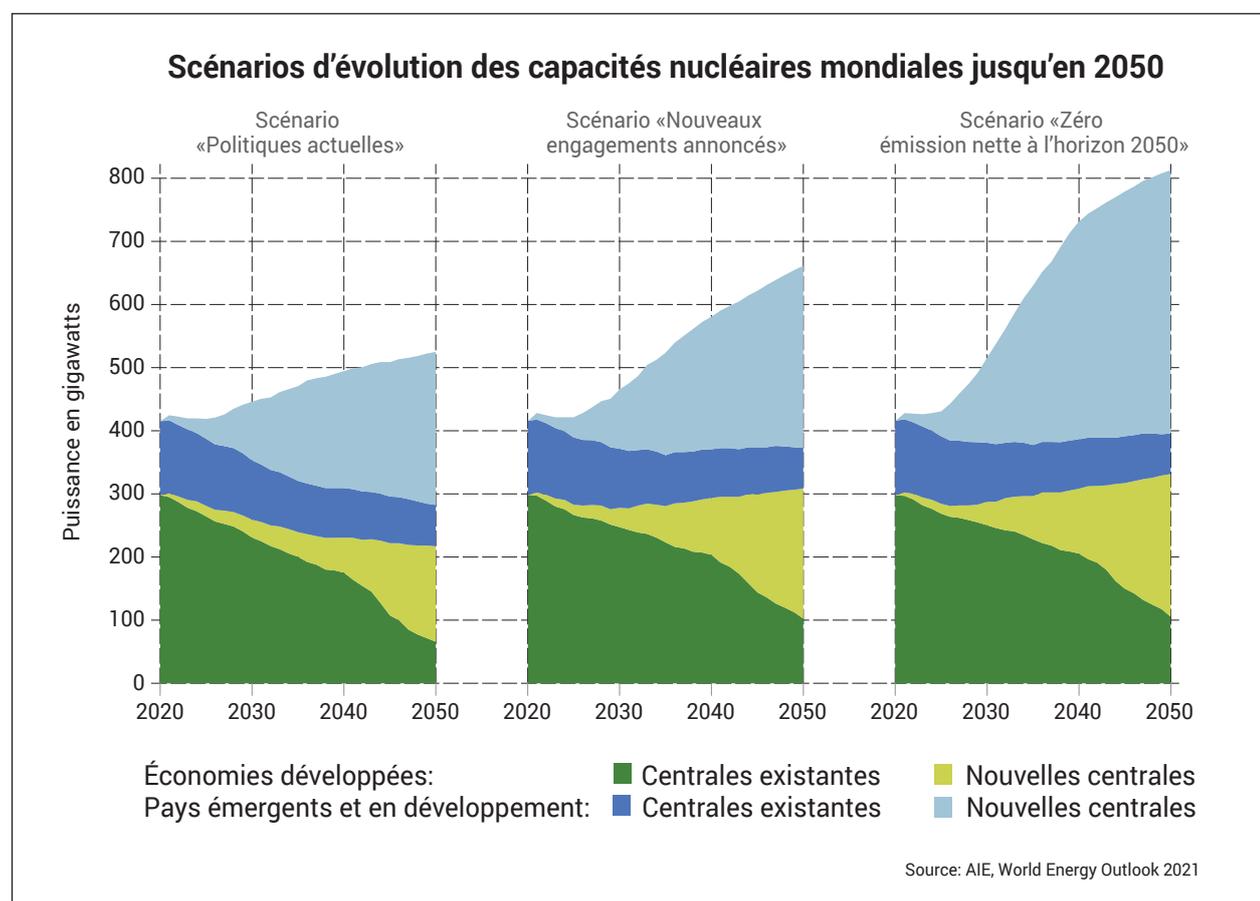
La collaboration avec la société, et notamment avec les personnes concernées de la région du Nord des Lägern, restera également importante à l'avenir. De nombreuses questions apparaîtront ces prochaines années, auxquelles il faudra apporter des réponses. Les craintes et les critiques devront être prises au sérieux. La Nagra et son CEO Matthias Braun en sont parfaitement conscients: «Nous ferons avancer le projet avec la motivation et la conviction nécessaires, mais aussi avec le respect qu'il se doit.» (*Adrian Uhlmann, Nagra*)

Plus le scénario est «vert», plus la part d'énergie nucléaire est grande

Pour l'Agence internationale de l'énergie (AIE) de l'OCDE, l'électrification et l'efficacité énergétique ont un rôle central à jouer dans la réduction des émissions de CO₂. Ce sont surtout des résistances politiques qui font pour l'heure obstacle à un développement accéléré de l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale. S'agissant du développement rapide de l'éolien et du photovoltaïque, de l'extension des réseaux électriques qu'il implique et de l'augmentation massive de l'électromobilité, la problématique est autre: les matières premières nécessaires risquent de se faire rares, et donc chères. Telle est la mise en garde formulée par l'AIE dans son «World Energy Outlook 2021».

Le «World Energy Outlook 2021» étudie trois scénarios, qui partent tous du principe que la population mondiale devrait encore augmenter de deux milliards de personnes d'ici 2050:

- «Zéro émission nette à l'horizon 2050»: la neutralité climatique est atteinte d'ici 2050.
- «Nouveaux engagements annoncés»: tous les engagements pris au plan mondial sont intégralement mis



en œuvre. D'ici 2050, les émissions de CO₂ diminuent de 40%, la contribution du secteur de l'électricité étant de loin la plus importante.

- «Politiques actuelles»: les pays poursuivent les politiques qu'ils ont déjà adoptées. Les économies de CO₂ réalisées sont compensées par de nouvelles émissions, de sorte qu'il n'y a pas de réduction globale (dans le résumé en français publié par l'AIE, ce scénario est baptisé «Politiques annoncées»).

L'AIE constate que la reprise après la récession de l'an dernier due à la pandémie de coronavirus génère d'importantes tensions dans le système énergétique actuel, déclenchant des hausses brutales des prix du gaz naturel, du charbon et de l'électricité. En 2021, malgré les avancées remarquables réalisées dans le domaine des énergies renouvelables et de l'électromobilité, le recours au charbon et au pétrole a augmenté, entraînant la deuxième plus forte hausse annuelle des émissions de CO₂ jamais enregistrée. De plus, toujours selon l'AIE, quelque 140 GW de nouvelles centrales au charbon sont en construction dans le monde et plus de 400 GW se trouvent à différents stades de planification.

Énergie nucléaire: doublement des capacités à l'horizon 2050?

Le développement de l'énergie nucléaire au cours des dix prochaines années est en grande partie défini par les installations actuellement en construction (environ 60 GW), écrit l'AIE. Étant donné toutefois que la Chine, la Corée du Sud et la Russie sont capables de construire de nouvelles centrales en cinq à sept ans, d'autres projets sont susceptibles d'être achevés d'ici 2030. Après 2030, il existe des projets concrets pour plus de 100 GW. Et le scénario le plus «vert», celui baptisé «Zéro émission nette à l'horizon 2050», prévoit un doublement des capacités nucléaires de production d'électricité d'ici 2050, notamment grâce à un développement massif de cette technologie dans les pays émergents et en développement (voir graphique à la page 13).

En ce qui concerne l'arrêt définitif des réacteurs existants, les incertitudes sont assez importantes. En Europe, au Japon et aux États-Unis, de nombreuses installations relativement anciennes nécessitent des investissements supplémentaires, voire de nouvelles autori-

sations, pour que leur durée d'exploitation puisse être prolongée. Dans le scénario «Politiques actuelles», plus de 65 GW (23%) du parc actuel de réacteurs sont retirés du réseau d'ici 2030. Dans le scénario «Nouveaux engagements annoncés», il s'agit encore de 50 GW.

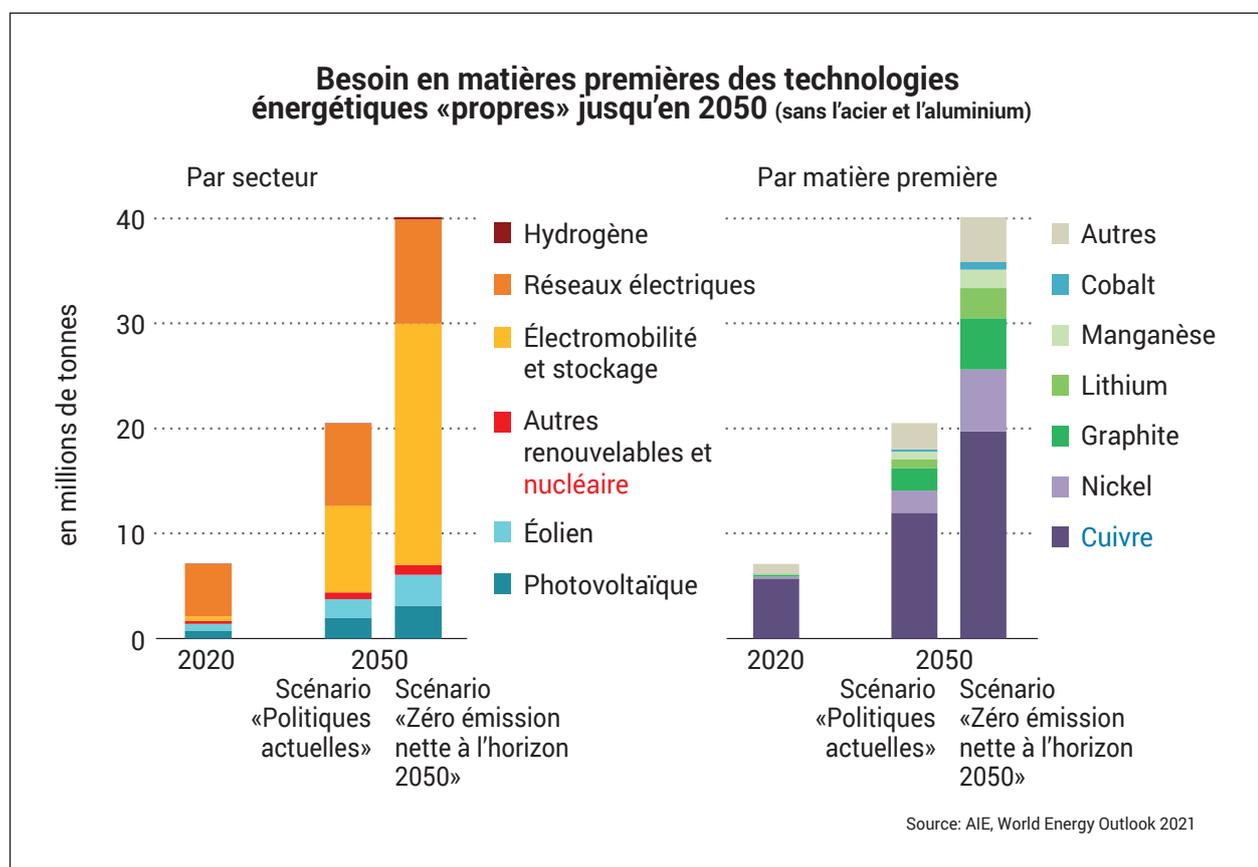
Vague de mises à l'arrêt définitif après 2030

Bien que des prolongations des durées d'exploitation permettent une production rentable d'électricité bas carbone au cours des dix prochaines années, les fermetures pourraient encore s'accélérer dans les économies développées. À l'horizon 2040, environ deux tiers des centrales nucléaires qui y sont en service auront dépassé les 50 ans d'exploitation, ce qui devrait entraîner une vague de mises à l'arrêt dans tous les scénarios. Certes, des technologies innovantes comme les petits réacteurs modulaires (SMR) pourraient permettre de réduire les délais d'autorisation et de construction, et ouvrir la voie à de nouvelles applications comme la production de chaleur ou d'hydrogène. Mais pour cela, il faudrait accélérer les efforts en ce sens, estime l'AIE.

Risques liés aux matières premières pour les nouvelles énergies renouvelables

Dans tous les scénarios, la part mondiale des productions volatiles que sont l'éolien et le solaire passe de moins de 10% aujourd'hui à 40–70%, voire plus dans certaines régions. Le scénario «Zéro émission nette à l'horizon 2050» prévoit 240 millions de systèmes photovoltaïques sur les toits et 1,6 milliard de véhicules électriques. Le système énergétique flexible requis à cet effet nécessite des réseaux électriques robustes, des batteries de stockage et des sources d'électricité accessibles à tout moment, telles que l'énergie hydraulique, la géothermie ou la biomasse, ainsi que des SMR ou encore des centrales électriques alimentées à l'ammoniac (NH₃) ou à l'hydrogène.

L'éolien et le photovoltaïque sont souvent considérés comme indépendants de la géopolitique. L'AIE souligne toutefois que les chaînes d'approvisionnement propres à ces technologies ne sont pas exemptes de risques. L'approvisionnement en matières premières minérales telles que le cobalt, le manganèse, le lithium, le nickel ou le cuivre est particulièrement préoccupant. Le photovoltaïque, les parcs éoliens et les véhicules électriques ont



besoin de beaucoup plus de ces matières premières que leurs homologues à énergie fossile. Le développement rapide souhaité de ces technologies entraînera donc une augmentation massive de la demande. De plus, les gisements sont aujourd'hui situés dans un nombre beaucoup plus restreint de pays que dans le cas du gaz naturel par exemple.

Dans le scénario «Politiques actuelles», la demande en matières premières critiques est presque multipliée par trois d'ici 2050. Dans le scénario «Zéro émission nette à l'horizon 2050», elle est multipliée par six (voir graphique ci-dessus). En examinant les différents secteurs, on constate par exemple que les véhicules électriques et les batteries nécessiteront à l'avenir jusqu'à 50 fois plus

de ressources critiques qu'aujourd'hui et que l'extension des réseaux électriques devrait doubler la demande en cuivre. L'AIE prévoit une croissance rapide de la demande pour le lithium, le cobalt, le nickel, le graphite et surtout le cuivre.

Menace sur la réalisation de l'objectif zéro net d'ici 2050

Pour le photovoltaïque, le coût de matériaux tels que le silicium, l'argent et le cuivre joue un rôle important. Pour les éoliennes, outre le béton pour les fondations, ce sont généralement l'acier, le cuivre, le zinc et les terres rares (pour la construction des aimants permanents dans les générateurs synchrones) qui dominent. Rien qu'en 2020, ces matières premières ont enregistré des hausses de

prix massives allant de 50 à 150%. Si cette tendance devait se poursuivre, 700 milliards de dollars supplémentaires seraient nécessaires pour développer les énergies renouvelables, estime l'AIE. Il en va tout autrement de l'énergie nucléaire: même en cas d'augmentation massive de la production actuelle, le besoin en matières premières critiques reste modeste.

Une éventuelle pénurie d'approvisionnement associée à des prix plus élevés et plus volatils aurait pour conséquence de ralentir et de renchérir la transition vers les énergies propres. D'un autre côté, elle pourrait entraîner une intensification du recyclage ou de la substitution. La chimie des batteries pourrait par exemple être modifiée (voir encadré).

Selon l'AIE, de tels processus nécessitent toutefois un temps considérable et une période de volatilité des prix. De plus, la qualité des gisements est susceptible de diminuer, les problèmes sociaux et environnementaux risquent d'augmenter, et l'extraction et la transformation de se concentrer davantage sur un nombre toujours plus restreint de pays. Selon l'Institut allemand de recherche économique (DIW) à Berlin, le Chili, la Chine et le Pérou comptent actuellement pour 49% de la production mondiale de cuivre; l'Indonésie, les Philippines et la Russie pour 54% de celle de nickel; le Congo produit à lui seul 69% du cobalt, tandis que l'Australie, le Chili et la Chine fournissent 88% du lithium. (M.S./D.B. d'après AIE, rapport «World Energy Outlook 2021» et DIW, rapport hebdomadaire 4/2022, «Steigende Metallpreise als mögliches Hindernis der Energiewende» [La hausse du prix des métaux, un obstacle possible à la transition énergétique])

Hausse du coût de fabrication des batteries

Les matériaux cathodiques pour les batteries automobiles, tels que le lithium, le nickel ou le cobalt, sont devenus nettement plus chers en 2021. Les précédentes flambées de prix avaient déjà incité les fabricants de batteries à réduire leur utilisation du cobalt au profit de celle du nickel. L'AIE estime que dans les années à venir, les anodes en lithium métallique seront par exemple de plus en plus utilisées dans les batteries à l'état solide.

Reste qu'elle considère l'objectif de la neutralité climatique à l'horizon 2050 comme très ambitieux au vu de la consommation de matières premières qu'il implique. Dans le scénario «Zéro émission nette à l'horizon 2050», il y a trois fois plus de véhicules électriques que dans le scénario «Politiques actuelles». Cela signifie que la demande sera multipliée par 40 et que les prix du nickel et du cobalt utilisés dans les batteries augmenteront en conséquence. Dans certains pays, cela devrait freiner la diffusion des voitures électriques. L'AIE peut donc imaginer que, dans le scénario zéro émission, de nombreuses batteries de véhicules seront construites avec des exigences moindres en termes de matériaux, quitte à consentir à des sacrifices en termes de performances.

Médecine nucléaire: gros plan sur la production et l'utilisation des radionucléides

La médecine moderne est tributaire d'un approvisionnement fiable en radionucléides utilisés à des fins de diagnostic et de thérapie. Quels sont ces radionucléides et comment sont-ils produits?

D'après la Ligue contre le cancer, rien qu'en Suisse, près de 43'500 personnes déclarent chaque année un cancer. Nombre d'entre elles bénéficient de soins faisant intervenir des matières radioactives – les radionucléides. Au moment de leur désintégration, les radionucléides émettent de l'énergie en excès, qui prend la forme d'un rayonnement ionisant. Celui-ci est utilisé dans l'imagerie diagnostique et dans le traitement de maladies telles que le cancer, ou encore pour la stérilisation d'appareils médicaux.

La plupart du temps, les radionucléides sont administrés aux patientes et patients sous la forme d'un médicament radioactif, appelé radiopharmaceutique. Les radionucléides sont produits essentiellement dans les réacteurs de recherche et/ou les accélérateurs de particules (par ex. les cyclotrons). Cet article présente une sélection de radionucléides et de leurs applications.



À la source expérimentale de neutrons Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), les scientifiques de l'Université technique de Munich produisent des radionucléides destinés également à la médecine nucléaire.
(Photo: Université technique de Munich)

Les radionucléides utilisés aux fins de diagnostic

Les procédés d'imagerie utilisés en médecine nucléaire pour diagnostiquer les maladies renseignent sur le fonctionnement, le flux sanguin et le métabolisme des organes. Ils sont efficaces notamment avec la thyroïde, les os, le cœur et le foie, et permettent d'identifier des dysfonctionnements et de détecter des tumeurs. Les procédés les plus courants sont la scintigraphie, la tomographie par émission monophotonique (SPECT) et la tomographie par émission de positrons (PET). La SPECT et la PET peuvent par ailleurs être combinées à la tomographie par rayons X (CT).

D'après le Manuel MSD, la SPECT permet d'obtenir par ordinateur des coupes transversales et des images tridimensionnelles. On utilise ici une caméra spéciale, appelée gamma-caméra, qui se déplace autour du patient ou de la patiente. Le procédé SPECT permet de recueillir davantage d'informations concernant, par exemple, la fonction cardiaque et l'irrigation sanguine, que la scintigraphie traditionnelle. Dans le cadre de cette dernière, ni la gamma-caméra ni le patient ou la patiente ne se déplacent. On obtient alors une image normale, dite planaire, qui prend la forme d'un scintigramme. Toutefois, avec le procédé SPECT, le corps est exposé à une dose de rayonnement plus élevée.

Un PET-scan permet, quant à lui, d'obtenir des images en coupe colorées de qualité supérieure (appelées tomodogrammes) et d'examiner en temps réel le fonctionnement du cœur, des reins et du cerveau.

Les procédés d'imagerie médicale décrits ci-dessus nécessitent donc une source de rayonnement qui est placée à l'intérieur du corps du patient ou de la patiente. Cette source est constituée d'un radionucléide qui fait office de marqueur radioactif et qui est accroché à une molécule vectrice. Les deux éléments ensemble forment le radiopharmaceutique administré au patient. Ce radio-

pharmaceutique possède des propriétés spécifiques qui lui permettent d'identifier certaines cellules et de rester piégé à l'intérieur de celles-ci. Il peut être administré, par exemple, à l'aide d'une seringue et s'établit alors à l'intérieur d'un tissu, par exemple d'une tumeur, où le radionucléide se désintègre.

Un radionucléide utilisé pour le diagnostic émet un rayonnement gamma depuis l'intérieur du corps, qui s'échappe ensuite à travers la peau. Ce rayonnement est alors capté par un détecteur, une caméra spéciale. La quantité du radiopharmaceutique administré doit être suffisante et la demi-vie du radionucléide doit être assez longue pour que les informations souhaitées puissent être collectées avant qu'une quantité trop importante de radionucléides ne se désintègrent. Toutefois, dans la mesure du possible, le radionucléide ne doit pas émettre de rayonnement bêta à haute énergie et doit donc posséder une demi-vie relativement courte de sorte qu'il se désintègre juste après la réalisation de l'image, afin de limiter l'exposition du patient ou de la patiente.

Dans le cas du PET-scan, en revanche, lors de la désintégration bêta-plus, un proton du radionucléide se transforme tout d'abord en un neutron, un positron (antiparticule de l'électron) et un neutrino. Par interaction avec le milieu, le positron perd son énergie cinétique et s'associe avec un électron. Le positron et l'électron s'annihilent alors (disparaissent) et leur masse se transforme directement en énergie: deux photons (rayonnement gamma) sont émis dans des directions directement opposées. C'est ce que l'on appelle la réaction d'annihilation, et cette réaction peut alors être détectée à l'extérieur du corps.

Tc-99m: le principal radionucléide utilisé dans le diagnostic médical

Le technétium 99m (Tc-99m) est un isotope idéal car il émet uniquement des rayons gamma de faible énergie et des électrons, et possède une demi-vie de six heures. Il s'agit du radionucléide le plus utilisé pour le diagnostic. Il intervient dans la scintigraphie, un procédé qui permet d'identifier notamment les cancers du sein, les métastases osseuses, les parathyroïdes, et les cancers de la thyroïde. Il permet aussi d'explorer la vésicule biliaire, le cœur, le cerveau, la moelle osseuse, le foie, le flux sanguin et la ventilation des poumons, le système lymphatique, la

rate et la fonction rénale. La gamma-caméra enregistre le rayonnement gamma émis par le radionucléide et l'ordinateur délivre, à partir de là, une image planaire de la région du corps explorée, la forme d'un scintigramme.

D'après la World Nuclear Association (WNA), le Tc-99m est utilisé près de 40 millions de fois par an, ce qui représente 80% de l'ensemble des applications de médecine nucléaire et 85% des scans diagnostiques. Dans les pays industrialisés, près d'une personne sur 50 recourt chaque année à la médecine nucléaire à des fins diagnostiques. Ces chiffres montrent bien à quel point les hôpitaux sont tributaires d'un approvisionnement fiable en radionucléides tels que le Tc-99m. Or un tel approvisionnement constitue un défi. La plupart du temps, les radionucléides sont produits dans les réacteurs de recherche (cf. ci-dessous).

Les autres radionucléides courants utilisés pour le diagnostic sont le carbone 11 (C-11), l'azote 13 (N-13), l'oxygène 15 (O-15), le fluor 18 (F-18) et le gallium 68 (Ga-68). Ils interviennent dans le cadre de la tomographie par émission de positrons (PET) et peuvent être produits dans un accélérateur de particules, par exemple un cyclotron (cf. ci-dessous).

Les radionucléides utilisés à des fins de traitement

Concernant la radiothérapie (thérapie par rayons), plusieurs techniques d'irradiation permettent de détruire de manière ciblée des cellules cancéreuses à l'aide d'un rayonnement ionisant. Les cellules cancéreuses réagissent en effet davantage au rayonnement et se régénèrent plus difficilement que les cellules saines, toutefois également irradiées.

En téléthérapie, pour irradier une tumeur depuis l'extérieur de l'organisme à travers la peau, on a recouru pendant des décennies à des appareils qui utilisaient le radioisotope cobalt 60 (Co-60), un émetteur gamma. Ces appareils ont en grande partie été remplacés par des accélérateurs linéaires dotés d'un faisceau d'électrons pour la génération de rayons X, plus précis et plus polyvalents. Dans le cas de l'irradiation stéréotaxique de tumeurs et de métastases cérébrales, aujourd'hui encore, on utilise comme «Gamma Knife» de petits émet-

teurs Co-60. Le Co-60 permet aussi de stériliser des appareils médicaux. Il est produit, par exemple, dans les réacteurs à eau lourde du type Candu de la centrale nucléaire canadienne de Bruce ou dans les réacteurs russes RBMK de Koursk, Leningrad et Smolensk.

Concernant maintenant la brachythérapie, des radionucléides sont introduits dans le patient ou la patiente au moyen d'aiguilles fines ou de tubes, et sont soit acheminés à proximité immédiate de la tumeur soit implantés directement dans celle-ci. La tumeur reçoit ainsi une dose d'irradiation élevée et le tissu sain alentours peut être préservé. Afin d'éviter une exposition importante du personnel au rayonnement, l'injection de la source peut se faire de manière télécommandée (méthode par chargement différé).

De minuscules capsules métalliques (appelées «grains») contenant le radionucléide peuvent être utilisées comme

implants. Elles sont placées dans le tissu à traiter à l'aide d'aiguilles fines. Au stade précoce du cancer de la prostate, ces capsules sont utilisées comme implants permanents avec de l'iode 125 ou du palladium 103. Pour traiter des carcinomes de la lèvre ou à la suite de chirurgies mammaires conservatrices, les médecins de l'Hôpital de l'Île à Berne recourent à des applicateurs qui permettent d'introduire de l'iridium 192 dans la tumeur et qu'ils retirent à la fin du traitement. Enfin, dans le cas de traitements gynécologiques, la source radioactive peut être administrée à l'aide d'un applicateur sur la face interne de l'orifice corporel.

La radiothérapie métabolique consiste à injecter un radiopharmaceutique dans le corps. Celui-ci est transporté jusqu'au tissu à traiter via les vaisseaux sanguins et s'accumule de manière ciblée dans le tissu tumoral où il se désintègre et irradie localement les cellules cancéreuses. Ainsi, l'irradiation des tissus sains, plus éloignés de la source de rayonnement, est sensiblement réduite.

L'Hôpital universitaire de Zurich utilise le radionucléide iode 131 (I-131) dans le cadre du traitement des cancers de la thyroïde à l'iode radioactif. Après avoir avalé une gélule d'iode radioactif I-131, celle-ci se dissout dans l'estomac. L'iode libéré est transporté jusqu'à la thyroïde via les vaisseaux sanguins, où il se désintègre en émettant un rayonnement bêta.

Le lutétium 177 (Lu-177) permet de traiter différents types de cancer. C'est est un émetteur bêta. Il est utilisé par exemple à l'Hôpital universitaire de Zurich pour traiter les tumeurs neuroendocrines. Les cellules neuroendocrines sont souvent dispersées dans le tractus gastro-intestinal, dans les poumons et dans le pancréas. Le Lu-177 est utilisé en combinaison avec du Ga-68. Ce dernier est utilisé par les médecins pour délimiter la tumeur prostatique et adapter, en conséquence, la dose de Lu-177 à administrer. Le traitement des carcinomes prostatiques à base de Lu-177 est pratiqué à la fois à l'Hôpital universitaire de Bâle et à l'Hôpital de l'Île de Berne. Ce type de cancer est responsable de 90'000 décès chaque année en Europe. L'Institut National belge des Radioéléments IRE estime que le besoin en Lu-177 est amené à augmenter de manière exponentielle: En 2020, près de 16'000 patientes et patients ont bénéficié



Le centre de recherche nucléaire belge SCK-CEN a développé une méthode innovante de production de lutétium 177.
(Photo: SCK-CEN)

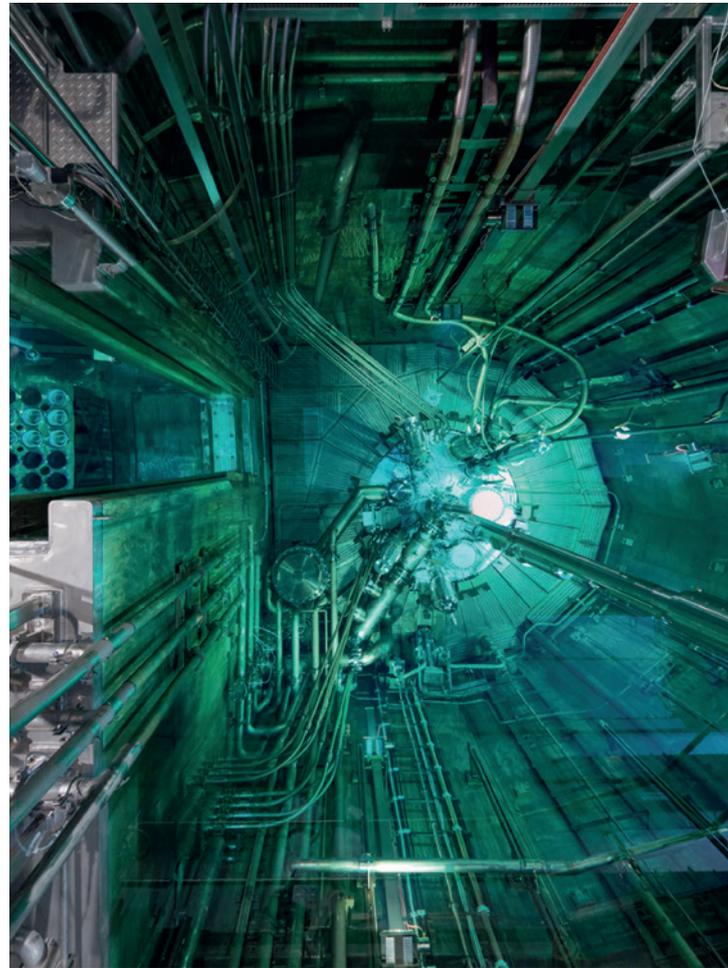
du radionucléide, et ce chiffre devrait atteindre 138'000 en 2026. L'Ac-225 est, lui aussi, utilisé dans le cadre du traitement du cancer de la prostate par alphathérapie ciblée, lorsque les thérapies traditionnelles ne fonctionnent pas.

Le réacteur à haut flux (HFR) de Petten, aux Pays-Bas, produit depuis plusieurs années déjà du Lu-177 par irradiation de différentes matières. Le réacteur de recherche sud-africain Safari-1, qui sera mis hors service en 2030, figure, lui aussi, parmi les plus gros producteurs de Lu-177 et de molybdène 99 (Mo-99) au monde. Le Mo-99 est le produit de base utilisé pour la fabrication du Tc-99m. Le Lu-177 est généré, par exemple, lors de l'irradiation d'ytterbium 176: le bombardement neutronique dans le réacteur permet dans un premier temps de générer de l'ytterbium 177, qui se désintègre ensuite en Lu-177.

La production de radionucléides dans les réacteurs de recherche

Le Mo-99 et l'I-131 figurent parmi les radionucléides les plus utilisés, et donc les plus produits. Ils sont produits essentiellement à partir de matière fissile irradiée, à l'intérieur d'un réacteur nucléaire. Pendant longtemps, le HFR de Petten a couvert près de 60% du besoin européen en Mo-99 et 30% du besoin mondial. D'après l'Université technique de Munich, le Mo-99 est obtenu par irradiation de cibles d'uranium durant six jours à l'aide d'un flux élevé de neutrons thermiques, tel qu'on en trouve presque exclusivement dans les réacteurs de recherche. Ces cibles peuvent être des plaques ou des tubes en aluminium contenant de l'uranium 235 (U-235) enrichi à 19,75%. Ainsi, l'U-235 permet d'obtenir dans un premier temps le produit de fission Mo-99, qui possède une demi-vie de 66 heures et libère du Tc-99m métable lors de sa désintégration. Ce dernier, qui possède une demi-vie de six heures, se transforme ensuite en technétium 99, et libère alors le rayonnement gamma requis pour le diagnostic.

Pour que le Mo-99 puisse être utilisé par les hôpitaux, après irradiation dans le réacteur, il doit être extrait et séparé grâce à des procédés chimiques, après quoi il est conditionné dans un générateur de Mo-99/Tc-99m. Le Tc-99m est alors extrait de ce générateur pour être utilisé en imagerie médicale.



Coup d'œil à l'intérieur de la source expérimentale de neutrons Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) de l'Université technique de Munich. Au centre de l'image, à gauche: la piscine de refroidissement des crayons combustibles usés. (Photo: Université technique de Munich)

Les scientifiques de l'Université technique de Munich précisent que dans les pays occidentaux, il n'existe que six grosses installations d'irradiation permettant de produire du Mo-99/Tc-99m: quatre en Europe, une en Afrique et une en Australie. Ces informations rejoignent celles de la WNA qui recense, elle aussi, un petit nombre de réacteurs de recherche permettant de produire des radionucléides: environ une douzaine. Parmi eux: le FRM II (source expérimentale de neutrons Heinz

Maier-Leibnitz) du centre allemand de Jülich, le HFR (réacteur à haut flux) de Petten, aux Pays-Bas, le réacteur Maria en Pologne, Safari-1 en Afrique du Sud, et Opal en Australie. Les principaux producteurs de radionucléides dans le monde sont: Curium (France et États-Unis), MDS Nordion (Canada), IRE (Europe), NTP (Afrique du Sud), JSC Isotope (Russie) et ANM (Ansto Australie).

Les réacteurs les plus anciens ont, pour la plupart, été mis en service dans les années 1960 et 1970. Initialement, ils étaient conçus pour fonctionner avec de l'uranium hautement enrichi (UHE, part d'uranium 235 supérieure à 20%). Mais en raison du risque de prolifération lié à l'UHE, conformément au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, la plupart des réacteurs de recherche ont été rééquipés pour fonctionner avec de l'uranium faiblement enrichi (UFE, part d'uranium 235 inférieure à 20%). Cela concerne non seulement le combustible uranium mais aussi les plaques d'uranium utilisées pour la production de Tc-99m, ce qui a nécessité d'adapter toute la chaîne de production.

Le passage du fonctionnement avec de l'UHE au fonctionnement avec de l'UFE a entraîné des pannes de production. En raison de leur âge avancé, des réacteurs de recherche ont déjà été arrêtés ou le seront prochainement – dans moins de dix ans pour certains. Les réacteurs de recherche ne sont disponibles pour la production de radionucléides médicaux qu'à certains moments. Par ailleurs, les réacteurs anciens nécessitent davantage de maintenance. En 2008, par exemple, plusieurs réacteurs de recherche ont rencontré des dysfonctionnements, ce qui a entraîné une pénurie de radionucléides au niveau européen. À Petten, le HFR sera remplacé par le nouveau réacteur polyvalent Pallas, qui garantira l'approvisionnement en radionucléides médicaux et la poursuite des travaux de recherche nucléaire à partir de 2026.

La production de radionucléides dans les accélérateurs de particules

Comme nous l'avons vu précédemment, les radiopharmaceutiques qui contiennent des radionucléides ayant une courte demi-vie de l'ordre de quelques minutes ou de quelques secondes, doivent être rapidement administrés après avoir été produits. Ainsi, les temps de trans-

port doivent être courts, sans quoi le radionucléide se désintégrerait avant même d'avoir été utilisé. Ces radionucléides sont donc produits, de préférence, dans un accélérateur de particules du type cyclotron. Contrairement aux réacteurs de recherche, les cyclotrons n'utilisent ici aucune source radioactive, leur installation et leur exploitation sont simples, et ils peuvent être installés directement dans des hôpitaux.

Dans un cyclotron, un champ magnétique dévie les particules chargées sur des trajectoires en forme de spirales. Ces particules effectuent plusieurs tours, sont accélérées par un champ électromagnétique jusqu'à atteindre des énergies élevées, puis sont projetées sur une cible. On obtient alors le radionucléide à partir duquel sera fabriqué le radiopharmaceutique.

Parmi les radionucléides couramment fabriqués dans un cyclotron, on trouve le C-11, le N-13, l'O-15, le F-18 et le Ga-68. Ils possèdent une demi-vie de quelques minutes et émettent des positrons, ce qui permet de les utiliser dans le cadre de la tomographie par émission de positrons (PET). Le principal radiopharmaceutique ici est le fluorodéoxyglucose, qui utilise comme traceur le radionucléide F-18, d'une demi-vie d'à peine deux heures.

Le Ga-68 est généralement produit à l'aide d'un générateur $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ pouvant être utilisé, par exemple, dans les hôpitaux équipés d'un cyclotron. La quantité de Ga-68 qu'il est possible d'extraire d'un tel générateur est toutefois limitée; davantage de patientes et patients peuvent bénéficier du Ga-68 lorsque celui-ci est produit dans un cyclotron. L'I-123, utilisé pour contrôler la fonction thyroïdienne, peut être obtenu à l'aide d'un cyclotron.

Concernant le Mo-99, bien qu'il soit produit avant tout dans des réacteurs, sa production dans un cyclotron constitue une alternative – toutefois très coûteuse d'après l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la WNA. Et fin 2020, un cyclotron destiné à la production de Tc-99m a été autorisé sur le marché.

D'après l'AIEA, entre 10 et 12% des radionucléides utilisés pour la fabrication de radiopharmaceutiques sont produits dans des cyclotrons. Ces radionucléides font l'objet d'une utilisation croissante dans la recherche, le

diagnostic, et le traitement d'un grand nombre de pathologies telles que le cancer, la maladie de Parkinson, d'Alzheimer mais aussi l'insomnie. La Base de données sur les cyclotrons utilisés pour la production de radionucléides de l'AIEA fournit un aperçu des organismes de recherche et hôpitaux qui utilisent un cyclotron. En Suisse, c'est le cas notamment de l'Institut Paul-Scherer (PSI), de l'Hôpital universitaire de Zurich (USZ) et de l'entreprise Swan Isotopen AG (dont le siège se trouve dans l'Hôpital de l'Île de Berne). (B.G./C.B. d'après différentes sources telles que «Radioisotopes in Medicine» de la World Nuclear Association)

Un accès plus simple aux radionucléides pour la recherche médicale

En médecine nucléaire, les radionucléides sont utilisés à grande échelle pour la thérapie et l'imagerie. La recherche médicale connaît actuellement des avancées importantes dans ces domaines, et développe de nouveaux procédés innovants. L'accès limité aux radionucléides, qui ne peuvent pas être obtenus commercialement, constitue toutefois un obstacle. Cela est appelé à changer grâce au programme européen pour les radionucléides médicaux (Prismap) qui permettra, dès la phase de développement de produits radiopharmaceutiques innovants, de faciliter l'accès à de nouveaux radionucléides produits dans des réacteurs nucléaires et des accélérateurs de particules. Le Cern, à Genève, et le PSI participent tous deux à Prismap.

Le PSI développe des produits radiopharmaceutiques destinés à la recherche et aux essais cliniques, et produit des radionucléides. L'installation Medicis, du Cern, participe activement à la recherche médicale en produisant, elle aussi, des radionucléides innovants. Dans le cadre de Prismap, ces derniers sont aussi destinés à la théranostique: une nouvelle approche médicale visant à combiner le diagnostic et la thérapie de cellules malades.

Réactions face à la taxonomie: deux poids deux mesures



Stefan Diepenbrock

Responsable
Communication,
Forum nucléaire suisse

Début juillet, le Parlement européen a suivi, avec une majorité finalement assez nette, la proposition, émise en janvier 2022, de la Commission européenne d'inclure l'énergie nucléaire et le gaz naturel dans le projet européen de taxonomie pour les investissements durables. D'où un tollé – ou plutôt un double tollé en l'espace de six mois – qui a dû s'entendre jusqu'à Bruxelles.

Comme en janvier, les réactions des prétendus défenseurs du climat et de l'environnement ne se sont pas fait attendre, tout comme celles des adversaires de l'atome. Presque par réflexe, l'accusation de «greenwashing» a fait le tour de l'opinion publique. À l'instar d'États membres comme l'Autriche ou le Luxembourg, l'organisation Greenpeace a annoncé qu'elle allait tenter une action en justice afin d'empêcher malgré tout l'entrée en vigueur de la taxonomie. Rien d'inattendu dans tout cela, même si ces critiques dénotent une certaine hypocrisie de la part des adversaires de l'atome: on peut certes avoir des réserves à l'égard de la taxonomie, mais si cette réglementation doit conduire à des investissements durables et respectueux du climat, c'est surtout l'inclusion du gaz naturel, gigantesque émetteur de gaz à effet de serre, qui devrait déclencher cette tempête d'indignation chez ceux qui disent vouloir protéger le climat. L'énergie nucléaire peut quant à elle être labellisée «verte» pour de nombreuses raisons, et elle obtient aussi un excellent score si l'on prend les critères de durabilité dans leur ensemble. L'été dernier, le Centre commun de recherche de la Commission européenne (Joint Research Center, JCR) était d'ailleurs parvenu à la conclusion que l'énergie nucléaire n'est pas plus nocive pour la santé humaine et l'environnement que n'importe quelle autre technologie de production d'énergie considérée

comme durable. Une conclusion qui n'est pas vraiment nouvelle et qui a été confirmée à maintes reprises par des organismes indépendants.

Il en va tout autrement du gaz naturel, un agent énergétique fossile auquel on ne peut trouver des propriétés durables qu'avec beaucoup d'imagination. En matière de durabilité, le fossé entre le gaz naturel et l'atome est abyssal – il est regrettable que cela n'ait été dit que rarement au cours du débat sur la taxonomie. L'erreur a donc été d'associer dans ce règlement le gaz fossile, nocif pour le climat, avec l'énergie nucléaire qui, elle, est bonne pour le climat.

Sur Twitter, le journaliste scientifique autrichien Florian Aigner a parfaitement résumé le dilemme posé par le fait que les deux formes d'énergie ne pouvaient être considérées comme durables qu'ensemble dans la décision sur la taxonomie. «Je ne peux que secouer la tête lorsque des journalistes déclarent que l'inclusion de l'énergie nucléaire dans la taxonomie est un scandale et ne mentionnent la question du gaz qu'en passant. On peut être contre l'énergie nucléaire pour de bonnes raisons. C'est mon cas. Mais en matière de climat, c'est l'inclusion du gaz qui est scandaleuse, pas celle du nucléaire.» →

Quant à la prise de position de Greta Thunberg, figure emblématique du mouvement climatique Fridays for Future, elle est (peut-être) surprenante, mais agréablement honnête, surtout si l'on tient compte de ce que la jeune femme ne dit pas: «Le Parlement européen vient de voter pour qualifier le gaz fossile d'énergie «verte». L'hypocrisie est frappante, mais malheureusement pas surprenante». L'avez-vous remarqué? Pas la moindre critique sur l'énergie nucléaire. Et c'est très bien ainsi.

Malheureusement, ces avis nuancés ont plutôt fait figure d'exceptions, surtout dans l'opinion publique et les médias de langue allemande. Ces derniers ont replacé la taxonomie sous son éclairage désormais habituel: «Le Parlement européen qualifie les centrales nucléaires de respectueuses du climat», a titré le «Blick». Et «Der Bund» a repris le cliché à la mode: «L'énergie atomique se voit octroyer le label vert». La quasi-totalité de ces articles a été illustrée par une tour de refroidissement agrémentée de quelques photos de Tchernobyl ou d'une séquence vidéo sur Fukushima. Le gaz naturel et son impact environnemental? Relégués au rang de simples détails. Près de 90% des critiques portaient sur l'inclusion de l'énergie nucléaire, celle du gaz naturel n'étant déplorée qu'en passant. Quiconque a déjà entendu parler de cadrage médiatique, sans savoir exactement ce que cette notion recouvre, en aura trouvé là un exemple éclatant! Selon le professeur Robert Entman, titulaire de la chaire Médias et Affaires publiques à l'Université de Washington, le cadrage médiatique (en anglais «framing») consiste à «sélectionner certains aspects d'une réalité perçue et à les rendre plus saillants dans un texte, de manière à promouvoir une définition particulière d'un problème, une interprétation causale, une évaluation morale et/ou une recommandation d'action.»

Ces condamnations à l'emporte-pièce de l'inclusion de l'énergie nucléaire dans la taxonomie ont été relayées auprès du public selon le modèle bien connu: «L'énergie nucléaire est trop chère, la construction de nouvelles centrales prend trop de temps, l'uranium provient de Russie, la question des déchets n'est pas résolue, la sûreté nucléaire n'est pas maîtrisable et le respect du climat suscite lui aussi de grands points d'interrogation». Presque personne – y compris parmi les représentants des médias – n'a pris la peine d'étudier en détail la régle-

mentation relative à la taxonomie, ni de se pencher sur la question de savoir quelles seront ses conséquences exactes sur les flux financiers internationaux. Or, les critères à remplir pour que les investissements dans de nouvelles centrales nucléaires puissent être considérés comme durables constituent un véritable défi: il faut par exemple que les installations répondent aux normes techniques les plus récentes, qu'elles obtiennent leur permis de construire d'ici 2045 et qu'un plan concret d'exploitation d'une installation de gestion des déchets de haute activité soit disponible en 2050 au plus tard.

La plupart des opposants à la décision sur la taxonomie ne se sont pas attardés sur de tels «détails», considérant que des affirmations simplistes du type «le nucléaire n'est ni vert ni durable» devaient suffire. Une attitude à même de faire naître l'impression que l'objectif du Parlement européen était non pas d'orienter davantage d'argent vers des activités durables au sein de l'UE, mais d'assurer un financement par l'impôt de toutes les nouvelles centrales nucléaires.

Dans le sillage de Greenpeace ou du WWF, ce sont surtout les défenseurs autoproclamés du climat qui ont crié à la trahison, et pas seulement à la tribune des visiteurs du Parlement. Ils ne se lassent pas de souligner que la lutte contre le changement climatique est de loin la tâche la plus importante qui incombe à la société, que cette tâche s'impose à tous les pans de cette dernière, et que pour la mener à bien, les politiques doivent suivre les recommandations des scientifiques. Mais ces revendications se tarissent très vite lorsque le nucléaire, dont la fiabilité et le caractère respectueux du climat ont été prouvés, entre en jeu. À l'évidence, les «défenseurs» du climat n'ont pas peur du changement climatique au point de lever le tabou sur l'énergie nucléaire.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, plusieurs acteurs ont annoncé leur intention d'attaquer en justice la décision sur la taxonomie. C'est le cas de l'Autriche et du Luxembourg, qui estiment que la Commission européenne a outrepassé ses compétences. Greenpeace a également annoncé une action devant la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) et a bon espoir que cette dernière «invalidera ce greenwashing politique, car il est clairement contraire au droit européen». Quelle curieuse

conception de la démocratie! En effet, ce sont les députés élus des États membres de l'UE qui ont voté sur la taxonomie. On ne peut guère faire plus démocratique (sauf en Suisse). Vouloir renverser une décision parlementaire par la voie judiciaire au motif qu'elle ne correspond pas à ce que l'on souhaite, ce n'est pas simplement faire preuve d'une mentalité de mauvais perdant. L'organisation révèle d'ailleurs assez ouvertement son aversion pour le système de la démocratie parlementaire dans le titre de son communiqué de presse: «Taxonomie: Greenpeace annonce un recours en justice après le vote en faveur de l'inclusion du gaz et du nucléaire des membres du Parlement européen».

Quel bilan tirer de tout cela? Le nucléaire reste à l'évidence un sujet idéologique et chargé d'émotions – surtout dans les régions germanophones. L'exemple de la taxonomie montre clairement qu'il ne faut pas grand-chose pour relancer un débat de fond qui agite l'opinion publique depuis des décennies. Eh bien, débattons! (D.B.)

En Suisse

Le recours au nucléaire gagne du terrain dans **l'opinion suisse**. Un sondage représentatif réalisé par Demoscope sur mandat du Forum nucléaire suisse fait apparaître une position majoritaire de 52% en faveur de l'utilisation de l'énergie nucléaire et un rejet de l'interdiction légale de construire de nouvelles centrales.

Par rapport à 2020, la **consommation d'énergie finale** en Suisse a augmenté de 6,3% en 2021 pour s'établir à 794'720 térajoules. Selon l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), cette hausse est essentiellement due à des conditions météorologiques plus froides et à l'assouplissement des restrictions visant à lutter contre la pandémie de COVID-19.

La révision annuelle de quatre semaines à la centrale nucléaire de **Leibstadt** est achevée, l'installation a repris la production d'électricité.



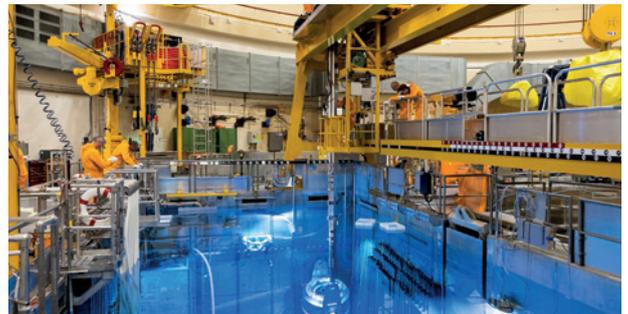
Au cours de la révision annuelle 2022 à Leibstadt, des assemblages combustibles ont été remplacés dans le cœur du réacteur, des travaux de maintenance et d'inspection ont été réalisés, de même que des contrôles périodiques des systèmes et des composants.

(Photo: Max Brugger)

Après avoir obtenu l'autorisation de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), l'exploitante Kernkraftwerk **Beznau** a reconnecté au réseau les tranches **Beznau** 1 et 2 à l'issue de la révision annuelle.

Le Forum nucléaire suisse a **remis une prise** de position sur la révision de l'ordonnance sur la responsabilité civile en matière nucléaire dans laquelle il demande que la révision soit suspendue jusqu'à ce que les conséquences pour les entreprises concernées aient été clarifiées.

Le transport des assemblages combustibles de la centrale nucléaire de **Mühleberg** vers le centre de stockage intermédiaire (Zwilag) suivant son cours, BKW a pu remettre à l'IFSN de manière anticipée une demande pour la deuxième phase de la désaffectation.



Centrale nucléaire de Mühleberg: les assemblages combustibles usés sont placés dans un conteneur spécial sous l'eau, dans lequel ils seront transportés jusqu'à Zwilag. (Photo: Keystone / handout de BKW)

L'IFSN a redéfini les hypothèses de risques pour les centrales nucléaires suisses pour différents **événements météorologiques extrêmes**. Les nouvelles circonstances résultant des changements climatiques, notamment les températures élevées de l'air et les tornades, ont été prises en compte.

L'IFSN a participé à la septième Conférence d'examen de la **Convention commune** sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs. La Suisse a obtenu de bonnes notes dans les deux domaines.



La 7^e Conférence d'examen de la Convention commune s'est déroulée du 27 juin au 8 juillet 2022 au siège de l'AIEA, à Vienne, sous la houlette de l'ancien directeur de l'IFSN, Hans Wanner (au centre). (Photo: Dean Calma / AIEA)

À l'étranger

Le président américain **Joe Biden** a mis en vigueur le paquet législatif sur **la protection du climat** et les réformes sociales (Inflation Reduction Act). Cette loi de grande portée prévoit notamment un soutien pour les centrales nucléaires actuelles et futures.



Le président américain Joe Biden promulgue l'Inflation Reduction Act, et ainsi, la met en vigueur. Selon lui, il s'agit d'une des lois les plus importantes de l'histoire des États-Unis. (Photo: @POTUS)

En vertu du projet de plan national pour le système énergétique, le **gouvernement néerlandais** prévoit de construire deux nouvelles tranches nucléaires et souhaite étudier le rôle que pourraient jouer ces réacteurs dans la production d'hydrogène vert.

La **Belgique** conclut un accord provisoire avec l'énergéticien français Engie qui permettra au pays de continuer à utiliser le nucléaire dix années de plus. Un accord définitif suivra avant la fin de l'année.

L'autorité hongroise de sûreté nucléaire, la HAEA, a remis le permis de construire pour les tranches **Paks 5 et 6**. Il s'agit de la principale condition en vue de la construction des installations.

Plus de 40 organisations du monde entier, dont des exploitants d'installations nucléaires, des fabricants de réacteurs, des hautes écoles et des associations industrielles, se sont regroupés dans la «**Nuclear Hydrogen Initiative**» afin de promouvoir le recours à l'hydrogène décarboné en tant que «solution décisive pour le climat».

Le **gouvernement sud-coréen** a esquissé une nouvelle politique énergétique qui prévoit que la part du nucléaire dans le mix du pays s'établira à 30%, au moins, d'ici à 2030. Par ailleurs, la construction des réacteurs 3 et 4 de la centrale nucléaire de Shin-Hanul sera reprise après avoir été suspendue en 2017.



Yoon Suk-yeol, président sud-coréen depuis début mai 2022, honore sa promesse électorale concernant l'énergie nucléaire: une nouvelle politique énergétique en ce sens a été adoptée le 5 juillet 2022. (Photo: Office of the President)

Lors d'une séance du conseil pour la mise en œuvre de la Transformation verte, le Premier ministre japonais, **Fumio Kishida**, a plaidé en faveur du redémarrage des tranches nucléaires à l'arrêt et du développement de réacteurs innovants.

Le premier béton de la tranche **Sanmen 3**, dans la province chinoise du Zhejiang, a été coulé le 28 juin 2022. Les travaux marquent le lancement de la phase d'extension II de la centrale de Sanmen.



Les travaux de construction de la tranche Sanmen 3 ont été lancés officiellement. (Photo: CGN) →

Le premier béton de la troisième tranche de la centrale de **Haiyang**, dans la province chinoise du Shandong, a été coulé début juillet, ce qui démarre officiellement la phase d'extension II du projet nucléaire. La construction du réseau transrégional de chaleur à distance du même nom a été lancée également.

En juillet, le premier béton de la partie nucléaire des tranches **Akkuyu 4** en Turquie et **El Dabaa 1** en Égypte a été coulé, marquant officiellement le lancement des deux chantiers de construction.



Quatre réacteurs du type VVER-1200 sont prévus dans la ville égyptienne d'El Dabaa. (Photo: Rosatom)

La tranche **Hinkley Point B-1**, dans le sud-ouest de l'Angleterre, a été définitivement mise à l'arrêt selon le calendrier prévu. Neuf réacteurs nucléaires restent en service au Royaume-Uni, ce qui fragilise un peu plus la capacité d'approvisionnement électrique du pays avant l'arrivée des mois les plus froids de l'année.

Le Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) a annoncé la création d'un **fonds** qui sera doté de 75 millions de livres sterling (CHF 87 mio.). Ces moyens permettront d'accroître la production indigène de combustible destiné aux réacteurs nucléaires et, ce faisant, de renforcer la sécurité de l'approvisionnement énergétique.

Ontario Power Generation (OPG) et X-energy ont signé un accord-cadre par lequel les deux entreprises souhaitent étudier des possibilités d'applications industrielles de petits réacteurs modulaires (SMR) du type **Xe-100** développé par X-energy au Canada. Le réacteur de la génération IV fournira de la vapeur à haute température ainsi que de l'électricité.

La **tranche 6** de la centrale chinoise de **Hongyanhe** a été mise en service commercial, après avoir réussi un fonctionnement test de 168 heures.



La tranche nucléaire chinoise Hongyanhe 6 est entrée en service commercial le 23 juin 2022. (Photo: CGN)

Le 20 juillet 2022, le gouvernement britannique a délivré la Development Consent Order (DCO) pour la construction de la centrale nucléaire de **Sizewell C** – une étape importante du processus d'autorisation.

Le projet brésilien à l'arrêt **Angra 3** a obtenu une nouvelle autorisation pour terminer les travaux.



La tranche nucléaire Angra 3, sur le littoral sud de l'État de Rio de Janeiro, sera achevée. (Photo: Eletronuclear)

La Commission européenne a ouvert une enquête approfondie afin de déterminer si la mesure de soutien que la Tchéquie prévoit d'accorder pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire à **Dukovany** est conforme aux règles de l'UE en matière d'aides d'État.



La Commission européenne lance une enquête sur les mesures de soutien tchèque en faveur d'une nouvelle tranche nucléaire sur le site de Dukovany, dans le sud-est du pays. (Photo: ČEZ)

L'AIEA a lancé une nouvelle initiative qui rassemble des instances de décision politiques, des autorités de surveillance, des entreprises de développement, des fabricants et des sociétés d'exploitation et qui a pour objectif d'élaborer des concepts réglementaires et industriels communs dans le domaine des **petits réacteurs modulaires**.

Un sondage mandaté par l'Institute of Public Affairs (IPA) montre qu'une majorité de la **population australienne** soutient la construction de centrales nucléaires dans son pays.

En **Allemagne**, la sortie du nucléaire annoncée pour la fin de l'année ne fait pas l'unanimité. C'est ce que révèlent deux enquêtes réalisées auprès d'un échantillon représentatif de la population: de plus en plus de citoyens sont favorables à la prolongation de la durée d'exploitation des trois centrales encore en service, voire à la construction de nouvelles centrales nucléaires.

L'énergéticien suédois **Vattenfall** a annoncé qu'il lançait une étude de faisabilité pilote portant sur la construction d'au moins deux petits réacteurs modulaires (SMR) sur le site de la centrale nucléaire de Ringhals.



La CEO de Vattenfall, Anna Borg, souhaite étudier la possibilité de construire deux petits réacteurs modulaires sur le site de Ringhals. (Photo: Vattenfall)

SaskPower, l'énergéticien de la province de la Saskatchewan, soutient l'utilisation du BWRD de **GE-Hitachi** d'ici au milieu des années 2030. Le petit réacteur modulaire est également prévu dans le cadre du Darlington New Nuclear Project d'Ontario Power Generation.

D'après le Global Fusion Industry 2022 Report, les investissements dans des **entreprises de fusion privées** ont plus que doublé par rapport à l'année dernière. Huit nouvelles entreprises ont ainsi vu le jour, ce qui monte leur nombre à 33. (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.

Pour une transition énergétique équitable en Afrique



Naphtali Mokgalapa

Ingénieur en sûreté nucléaire
à la South African Nuclear
Energy Corporation (NECSA)

De nombreux pays définissent leur trajectoire de réduction des émissions de manière à atteindre le zéro net. L'Afrique du Sud souhaite, elle aussi, fermer ses centrales au charbon. Naphtali Mokgalapa, un ingénieur nucléaire originaire de ce pays, esquisse la forme que pourrait prendre un tournant énergétique équitable et socialement supportable en Afrique, et le rôle que le nucléaire pourrait y jouer.

Lors de la 26^e Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP26), qui s'est tenue à Glasgow à la fin 2021, Joe Biden, président des États-Unis, s'est exprimé en ces termes: «J'ai grandi dans une région du nord-est de la Pennsylvanie qui était un important producteur de charbon. J'ai été témoin de ce qui s'est passé lorsque cette industrie s'est effondrée et de l'impact que cela a eu sur la communauté. Pour éviter que cela ne se reproduise, je pense qu'il est important de s'occuper des personnes concernées et de leur proposer des solutions de rechange».

Le plan intégré de gestion des ressources (Integrated Resource Plan, IRP2019) du gouvernement sud-africain prévoit de fermer des capacités charbon de plus de 11'000 MW d'ici 2030 et d'environ 24'100 MW d'ici 2050. Lorsque l'Afrique du Sud procèdera à ces fermetures, elle serait bien inspirée de tenir compte de la mise en garde du président américain concernant le risque de catastrophe socio-économique et de s'assurer que la transition du fossile vers des énergies propres se fait de manière équitable. Il est essentiel que l'Integrated Resource Plan continue de tenir compte des évolutions pertinentes qui ont lieu dans le monde. D'où la proposition de le réviser à intervalles réguliers et d'y intégrer les données les plus récentes.



Sur l'ensemble du continent africain, il n'existe actuellement qu'une seule centrale nucléaire assurant la production commerciale d'électricité. Il s'agit de la centrale sud-africaine de Koeberg (deux réacteurs à eau sous pression de 900 MW), située à 30 kilomètres au nord du Cap et appartenant à l'entreprise publique d'électricité Eskom. Une deuxième installation devrait s'y ajouter un jour, puisqu'en Égypte, la construction de la première des quatre tranches de la centrale nucléaire d'El Dabaa a été lancée en juin 2022. (Photo: Koeberg Nuclear Power Plant 2010, Paul-Scott / Wikimedia-Commons, CC BY-SA 2.0)

En Afrique du Sud, le charbon est non seulement prédominant, mais il est aussi à la base de l'accès à l'énergie, car il fournit une électricité à prix abordable aux ménages, aux entreprises, aux installations de production, aux mines, aux transports, aux systèmes de communication et aux services de toute l'économie. Par conséquent, son remplacement doit prendre en compte non seulement le changement climatique, mais aussi tous les autres facteurs pertinents. Une transition radicale et irréfléchie, qui ne tiendrait pas compte de l'adéquation de la source d'énergie proposée, notamment lorsqu'il s'agit de poursuivre l'industrialisation et d'assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique dans l'intérêt de la population, entraînerait une instabilité économique, sociale, et finalement politique – bref un chaos total.

L'énergie nucléaire est le lien qui peut assurer une transition énergétique équitable garantissant la souveraineté de l'État, la protection de l'environnement et les moyens de subsistance.

Souveraineté de l'État

Le taux de disponibilité en énergie des centrales au charbon de l'électricien Eskom est déjà en baisse (voir les statistiques sur la production d'électricité en Afrique du Sud pour 2021 – Conseil de la recherche scientifique et industrielle, CSIR). On s'attend à ce que l'Afrique du Sud arrête de nombreuses centrales au charbon à partir du milieu des années 2020. Elle ne peut toutefois pas se permettre de fermer prématurément des capacités fournissant de la charge de base sans planifier leur remplacement par d'autres capacités fournissant de la charge de base. →



Riche en charbon, l'Afrique du Sud possède de nombreuses centrales alimentées par ce combustible, qui approvisionnent le pays en charge de base. Il s'agit notamment de la centrale de Matla (six tranches), dans la province de Mpumalanga (nord-est du pays). Elle est alimentée en charbon par sa propre mine qui, selon son exploitant (Exxaro), assure un revenu à des milliers d'employés. (Photo: Escom)

Le réseau sud-africain et son exploitation ont été conçus de manière à garantir des tensions et des fréquences correctes dans le système. Pour maintenir la stabilité du réseau, il faut disposer en tout temps et en continu d'une charge de base minimale. Il est indispensable de déterminer la capacité d'approvisionnement en charge de base requise pour soutenir les sources qui ne fournissent pas de charge de base et pour éviter que le réseau ne devienne instable à partir de 2030. Une augmentation supplémentaire de la pénétration des énergies renouvelables dans le réseau électrique, sans études approfondies pour quantifier la pénétration tolérable compte tenu des conditions locales, est susceptible d'entraîner une instabilité du réseau, des délestages persistants et, finalement, des pannes d'électricité.

De nombreux pays d'Europe disposent de réseaux interconnectés avec ceux des pays voisins, ce qui leur offre flexibilité et soutien pour la stabilisation du réseau. Des études montrent que les pays qui, comme l'Allemagne, ont une part importante d'énergies renouvelables dépendent toujours de capacités de charge de base comme le charbon et/ou le nucléaire, dans leur pays et/ou à l'étranger, pour répondre à la demande en cas de conditions météorologiques défavorables. L'Afrique du Sud, quant à elle, n'a qu'un accès limité, voire inexistant, à des sources alternatives d'électricité provenant de pays proches, à l'exception du projet de barrage de Grand Inga en République démocratique du Congo (qui doit encore être réalisé) et du barrage de Cahora Bassa au Mozambique, afin de garantir la stabilité du réseau, ce qui est clairement insuffisant. D'autres initiatives telles que le Southern African Power Pool [marché commun de l'électricité créé par les États d'Afrique australe en 1995] doivent encore être développées pour que la région de la Southern African Development Community soit en mesure de partager avec succès l'énergie via des réseaux interconnectés.

Passer du charbon, une source d'énergie réglable et capable de fournir de la charge de base, à des sources d'énergie fluctuantes comme l'éolien ou le solaire sans tenir compte de l'impact de cette transition sur l'économie, la cohésion sociale et la stabilité du réseau serait un autosabotage à court terme et un suicide à long terme.

L'exploitation de ses abondantes ressources en uranium permettrait à l'Afrique du Sud de disposer de suffisamment d'énergie pour assurer la sécurité de son approvisionnement énergétique, ce qui continuerait à renforcer et à garantir la souveraineté de l'État. Je pense même qu'il est urgent de faire de l'uranium une ressource stratégique pour assurer l'approvisionnement futur en combustible nucléaire, que ce soit localement, à l'échelle du continent ou dans le monde entier. Parce que l'énergie nucléaire est la voie de l'avenir. Si nous l'ignorons, nous en payerons le prix.



L'Afrique du Sud, à l'instar d'autres pays africains, possède d'importants gisements d'uranium. L'uranium sud-africain provient typiquement de l'exploitation minière de l'or et du cuivre, dont il constitue un sous-produit. C'est surtout dans le bassin du Witwatersrand, au sud-ouest de Johannesburg, que l'on trouve d'importants gisements d'or et d'uranium. Sur la photo, on voit du minerai à haute teneur en or provenant de la mine d'or de Blyvooruitzicht, près de Johannesburg. Ce minerai contient beaucoup d'uranium sous forme d'uraninite (pechblende, dioxyde d'uranium), qui présente une couleur noire et un éclat grisâtre. (Photo: Carbon Leader Gold Ore, James St. John / Flickr, CC BY 2.0)

Protection de l'environnement

Le nucléaire, qui fournit de la charge de base de manière stable et efficace, peut être utilisé en lien avec d'autres formes d'énergies renouvelables si l'on utilise sa capacité à fonctionner en suivi de charge, c'est-à-dire d'adapter

sa production d'énergie de telle manière qu'elle soit faible quand le vent est fort, et augmente rapidement lorsqu'il n'y a pas de vent mais que la consommation est en hausse. Il va de soi que cette capacité à opérer en suivi de charge est avant tout le propre des petits réacteurs modulaires (SMR) et d'autres technologies nucléaires nouvelles, et qu'elle est moins bien prise en charge par d'autres sources d'énergie. Ainsi, les centrales au charbon actuelles ne fonctionnent pas bien en situation de fortes fluctuations.

La densité énergétique du combustible nucléaire est élevée, ce qui lui permet de libérer des quantités d'énergie bien plus importantes que la combustion de charbon ou de gaz. Il convient d'admettre que pour réduire les émissions dues à l'approvisionnement en électricité, il faut

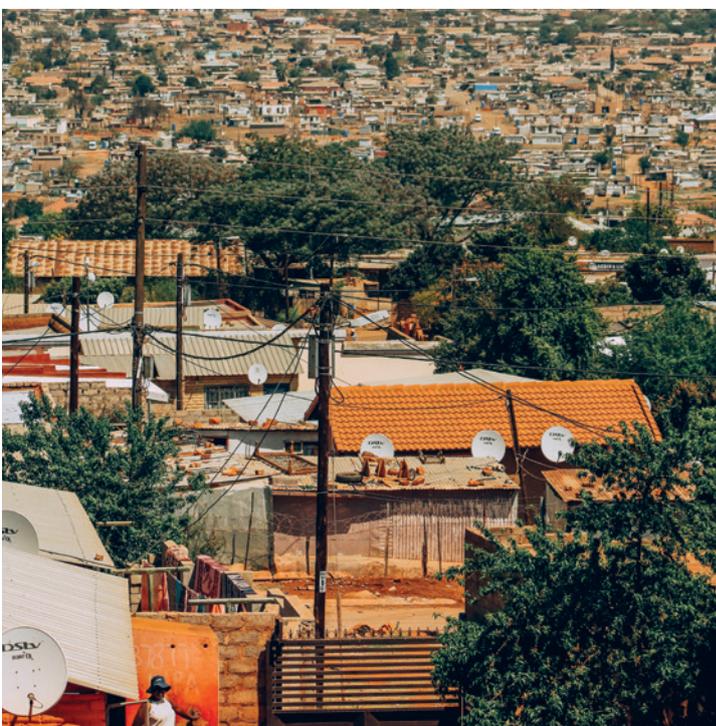
draît envisager la production d'électricité nucléaire ainsi que l'utilisation élargie du photovoltaïque, de l'éolien et d'autres sources d'énergie renouvelables, tout en disposant de capacités de stockage massives (c'est-à-dire d'éventuels supports flexibles tels que les batteries, dont le coût est encore considérable selon les recherches effectuées) et sans dépendre des combustibles fossiles comme solution de secours. Les installations solaires et éoliennes n'émettent pratiquement pas de CO₂ lors de la production d'électricité, tout comme les centrales nucléaires. Cependant, pour produire avec ces dernières la même quantité d'électricité qu'avec un seul réacteur nucléaire (env. 1000 MW_e), il faut une surface gigantesque, généralement située dans une région reculée où il n'existe encore aucune infrastructure de réseau, ce qui entraîne des coûts de construction considérables.

Des études ont montré que la voie la plus rapide vers un avenir énergétique caractérisé par des prix abordables, un approvisionnement fiable et de faibles émissions de carbone passe par une part importante d'énergie nucléaire, car celle-ci permet de produire de l'électricité bas carbone 24 heures sur 24 et constitue le complément idéal de l'éolien et du solaire.

Moyens de subsistance

La durée de vie d'une centrale nucléaire est de 60 ans, ce qui est généralement trois fois plus long que celle des installations éoliennes ou solaires, qui est d'environ 20 ans. L'énergie nucléaire est donc nécessaire pour couvrir les besoins en énergie stable à long terme, tandis que l'éolien et le solaire fournissent de moyen et long terme une électricité fluctuante. Ces centrales nucléaires créeront des emplois dans le secteur de la fabrication et du bâtiment pendant la phase de construction; elles en créeront encore pendant les 60 (voire 80) années que dure la phase d'exploitation; et la phase de démantèlement sera elle aussi génératrice d'emplois. Les retombées positives sur les autres branches constituent également des avantages à long terme.

Avec l'émergence des SMR, qui sont toutefois encore en cours de développement, l'énergie nucléaire se démarque des autres sources d'énergie dans la mesure où les SMR peuvent être considérés comme un substitut aux centrales au charbon mises à l'arrêt, dès lors que la



La transition énergétique en Afrique du Sud doit se faire de manière équitable, en tenant compte de ses impacts sur l'économie, sur la cohésion sociale et sur la stabilité du réseau. On voit ici une ligne électrique dans le village de Memelodi, près de Pretoria.

(Photo: Brandon Bean / Unsplash)

réglementation nécessaire est respectée. En effet, ces technologies sont flexibles en termes de lieu d'implantation et peuvent être construites de manière modulaire. Le remplacement des centrales au charbon par des SMR permettrait non seulement de préserver les emplois dans les communautés jusqu'alors dépendantes de ce combustible, évitant ainsi qu'elles deviennent des villes fantômes, mais amènerait aussi une croissance économique dans les régions en question.

Il n'est guère besoin de rappeler que les pays industrialisés sont nombreux à se diriger vers une économie décarbonée afin d'atteindre l'objectif de zéro émission nette fixé par les Nations Unies pour 2050. Il convient toutefois de relever qu'aucun pays n'a démontré qu'il est possible de s'industrialiser en recourant uniquement aux technologies renouvelables, qui fournissent une énergie fluctuante, à l'exclusion des technologies stables qui assurent un approvisionnement en charge de base. Si l'Afrique du Sud s'engage sur cette voie, elle deviendra un laboratoire d'expérimentation. À quel prix?

Les choses sont pourtant simples: la réussite passe par un tournant énergétique équilibré. (D.B.)

Publié initialement dans la lettre d'information «Voice of» de l'organisation «Nehawu Nuclear Energy Workers» (NNEWO), cet article est reproduit ici (en traduction française) avec l'aimable autorisation de la rédactrice en chef de la publication en question, Princess Mthombeni.

Naphtali Mokgalapa est ingénieur en sûreté nucléaire à la South African Nuclear Energy Corporation (NECSA), un centre public de recherche et développement dans le domaine nucléaire. Il est actuellement chef de projet suppléant pour le nouveau «Multipurpose Nuclear Research Reactor (MRP)», qui doit remplacer le réacteur de recherche sud-africain Safari 1, en service depuis 56 ans. Naphtali Mokgalapa a obtenu son bachelors en physique à l'Université du Cap, et un master ainsi qu'un doctorat en génie nucléaire à l'Université du Missouri à Columbia, États-Unis. Il a mené des recherches dans le domaine de la physique des réacteurs nucléaires, s'occupant notamment d'analyses et de calculs de sûreté. Avec Princess Mthombeni, il a fondé Africa4Nuclear en octobre 2021. Il s'agit d'une plateforme d'information et de communication innovante, active entre autres sur les réseaux sociaux.

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

Le dilemme rouge-vert

Dans cette rubrique, nous revenons une nouvelle fois sur les réactions des environmentalistes et «défenseurs» du climat face à la décision du Parlement européen concernant la taxonomie. Balthasar Glättli n'a pas manqué de s'exprimer à propos de ce vote. En tant que président des Verts suisses, il voit certes l'Union européenne d'un bon œil, mais, d'un autre côté, il est opposé presque d'office aux centrales nucléaires et aux centrales au gaz. Selon le portail d'information nau.ch, il trouve la décision en question «désastreuse, peu visionnaire et irresponsable – non seulement pour le climat, mais aussi pour la sécurité et la paix». À ses yeux, «le nucléaire et le gaz fossile ne sont pas des énergies durables: la combustion de gaz fossile ne fait qu'aggraver le réchauffement climatique, tandis que les déchets nucléaires de haute activité continueront pendant encore des siècles de constituer une pollution pour l'homme et l'environnement. Et ces deux technologies augmentent notre dépendance vis-à-vis d'États comme la Russie, tout en finançant les guerres qu'ils mènent».

En conséquence, M. Glättli et son parti demandent que la Suisse fasse cavalier seul en matière de définition des

investissements durables: «En plus d'un label efficace, nous autres Verts demandons l'interdiction immédiate du financement des activités particulièrement nocives pour le climat, comme l'extraction de combustibles et carburants fossiles tels que le pétrole ou le gaz issus des sables bitumineux et de la fracturation». La position des Verts est tout à fait cohérente. Ou bien pas tant que ça? En effet, au vu de la décision prise par le Parlement européen, le postulat «Investissements durables. Reprise du règlement européen Taxonomie» déposé le 17 juin 2021 par la conseillère nationale Céline Widmer (PS) fait tache dans le paysage. Et il a d'autant plus de poids qu'il a été cosigné par de farouches adversaires de l'atome tels que Martina Munz et Eric Nussbaumer – ainsi que par Regula Rytz, qui a précédé M. Glättli à la présidence des Verts.

À l'heure où nous rédigeons cet article, le Conseil fédéral recommande de rejeter le postulat, mais ce dernier n'a pas encore été traité par les Chambres. Nous sommes impatients de voir la tournure que prendra ce dossier. (M.Re./D.B. d'après nau.ch et Curia Vista, 10 août 2022)

4^e Rencontre du Forum de l'année 2022

Thème: «Sécurité d'approvisionnement»

Exposé de Werner Luginbühl, ECom

Mardi **15 novembre**, à partir de 17 h 10

Centre de la culture et des congrès d'Aarau

Cours d'approfondissement du Forum nucléaire suisse

«Les défis associés à la technique nucléaire – entretenir les connaissances et encourager la relève»

Jeudi **29 novembre**

Trafo de Baden



Photo: Forum nucléaire suisse

Nouvelle épisode du podcast «NucTalk»

Dans le 18^e épisode de notre podcast NucTalk, le physicien nucléaire Walter Rüegg nous explique ce qu'est la radioactivité, où elle est présente et l'impact qu'elle a sur l'homme. Nous abordons la radioprotection et les valeurs limites, les accidents nucléaires, et la situation à Tchernobyl et Fukushima aujourd'hui. N'hésitez plus, abonnez-vous à notre podcast! (Uniquement en allemand)

www.nuklearforum.ch/de/podcasts

Le Forum nucléaire sur Twitter

Le Forum nucléaire a sa propre page Twitter. Vous y trouverez des actualités nucléaires ainsi que d'autres tweets récents. Quant aux listes, elles vous permettront d'accéder directement aux twitteurs de la branche nucléaire du monde entier. Ainsi, la liste «Nuclear News» publie les tweets des principaux portails d'informations anglophones de la branche nucléaire. Si vous êtes titulaire d'un compte Twitter, il vous suffira d'un clic pour vous y abonner.

www.twitter.com/forum_nucleaire

Visite du studio SRF à Leutschenbach

Profitez d'une occasion unique de visiter le studio SRF à Leutschenbach (Zurich). Cette année, notre manifestation réservée aux membres aura lieu le mardi **13 décembre** à partir de 18 h 00.



Photo: SRF / Oscar Alessio

38th Short Course on Multiphase Flows

Des cours sur le thème «Modelling and Computation of Multiphase Flows» auront à nouveau lieu à l'EPF de Zurich du **13 au 17 février 2023**. Ces cours modulaires comprennent des séries bien coordonnées de conférences. Ils s'adressent aux ingénieures et ingénieurs et chercheuses et chercheurs qui aimeraient acquérir des connaissances fondamentales de pointe, des informations sur leurs applications nucléaires et sur les techniques modernes d'analyse des phénomènes multifluides, sur les techniques de calcul numérique appliquées.

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

Impressum

Rédaction:

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

Traduction:

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

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 2022 by Forum nucléaire suisse ISSN 1661-1470 –
Titre clé: Bulletin (Forum nucléaire suisse) – Titre abrégé
selon la norme ISO 4) – Bulletin (Forum nucléaire suisse).

La reproduction des articles est libre sous réserve
d'indication de la source. Prière d'envoyer un justificatif.

