



Conexão  
Nuclear

Année **06**  
N° **22**  
Mar. 2025

## **Taxonomie durable**

Nous devons apprendre  
des exemples internationaux

## **Utilisation des SMR dans l'industrie pétrolière**

Une solution pour les zones isolées  
et à infrastructure limitée



## **Focus sur la Finlande**

Une découverte géologique pourrait  
transformer le paysage énergétique mondial

## **Coût total de l'approvisionnement en électricité**

Mythes et réalités

# **Entretien avec Mikhail Chudakov**

Un dirigeant de l'AIEA partage ses perspectives  
sur les défis et opportunités du secteur nucléaire

**ABDAN**

## Mentions légales

### PRÉSIDENT

Celso Cunha

### VICE-PRÉSIDENT

Alexandre Honaizer

### VICE-PRÉSIDENT

Ivan Alexandrovich Dybov

### VICE-PRÉSIDENT

Paulo Coelho

### VICE-PRÉSIDENT

Stephen McKinney

### DIRECTEUR TECHNIQUE

Leonam dos Santos Guimarães

### CONSEIL CONSULTATIF

#### PRÉSIDENT

Paulo Massa

#### VICE-PRÉSIDENT

Giacomo Staniscia

#### MEMBRES

Carlos Seixas

Charles Buldrini Filogonio

Luiz Celso

Manoel Ribeiro

Newton Costa

Pedro Litsek

Pedro Moreira

Sibila Grallert

Conexão Nuclear est une publication de l'ABDAN

### RÉDACTRICE

Juliana Costa dos Santos - 0042392/RJ

### REPORTAGE

Larissa Haddock Lobo - 0042346/RJ

Juliana Costa dos Santos - 0042392/RJ

### RESPONSABLE MARKETING ET COMMUNICATION

Cristiane Pereira

### RESPONSABLE DU DESIGN

Lucas do M. N. Cunha

### CONCEPTION GRAPHIQUE ET MISE EN PAGE

Roman Atamanczuk

### INFOGRAPHIE

Lucas Gomes

### PHOTO DE COUVERTURE

Dean Calma / IAEA

### ÉDITION ET RÉVISION

Kelli Gonçalves

### ABDAN

#### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES NUCLEARES

AV. RIO BRANCO, 122, 16º ANDAR - CENTRO

RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL

CEP: 20.040-001

+55 (21) 2262-6587

🌐 [WWW.ABDAN.ORG.BR](http://WWW.ABDAN.ORG.BR)

SUGGESTIONS ET QUESTIONS

[ABDAN@ABDAN.ORG.BR](mailto:ABDAN@ABDAN.ORG.BR)

## Sommaire

**11**

### **COUVERTURE**

#### **Entretien avec Mikhail Chudakov**

Cadre de l'AIEA, il partage ses attentes concernant sa participation au NT2E et les défis auxquels la communauté nucléaire mondiale est aujourd'hui confrontée.



Foto: Dean Calma / IAEA

**04**

### **Éditorial**

Inclusion de l'énergie nucléaire dans la taxonomie durable brésilienne

**05**

### **Cadre réglementaire et réduction des risques**

Quelques-uns des principaux obstacles actuels auxquels le secteur nucléaire est confronté

**07**

### **Médecine nucléaire**

Les avancées technologiques ouvrent de nouvelles voies pour un diagnostic précoce et des traitements plus efficaces

**09**

### **Utilisation des SMR dans l'industrie pétrolière**

Ils apparaissent comme une alternative pour décarboner la production dans les zones isolées et mal desservies

**13**

### **Prolongation de la durée de vie d'Angra 1**

Eletronuclear se prépare à garantir le fonctionnement de la centrale jusqu'en 2044

**15**

### **Taxonomie durable**

Il est temps de s'inspirer de l'exemple d'autres pays

**17**

### **Coût total de l'approvisionnement en électricité**

L'importance d'une approche plus technique et plus globale

**19**

### **Nucléaire en mer**

Le Brésil occupe une position privilégiée pour développer l'énergie nucléaire dans le secteur maritime

**21**

### **Thorium en Finlande**

Une découverte géologique pourrait transformer le paysage énergétique mondial

**24**

### **Publireportage**

Rosatom

# NUCLÉAIRE ET TAXONOMIE DURABLE AU BRÉSIL



Alors que le monde fait face aux défis des changements climatiques et de la transition énergétique, l'énergie nucléaire et l'uranium se démarquent comme des piliers essentiels dans la construction d'un avenir durable. Dans de nombreuses régions du globe, leur importance est de plus en plus reconnue, non seulement comme levier de réduction des émissions, mais aussi pour garantir la sécurité énergétique. Au

Brésil, qui dispose d'importantes réserves d'uranium, il est impératif d'envisager l'inclusion de l'énergie nucléaire et de l'uranium dans notre taxonomie durable, afin de valoriser le potentiel de ces ressources et renforcer notre position sur la scène internationale.

Cependant, au Brésil, l'inclusion de l'énergie nucléaire dans la Taxonomie Durable Brésilienne (TSB) demeure un sujet de débat, malgré le précédent établi par l'Union européenne. L'absence de cette source dans la TSB représente une lacune réglementaire qui pourrait compromettre des investissements cruciaux pour la sécurité énergétique nationale.

L'expérience d'autres pays démontre l'intérêt d'une taxonomie reconnaissant l'énergie nucléaire comme une activité durable. En Europe, par exemple, l'énergie nucléaire est considérée comme une technologie de transition essentielle pour lutter contre les changements climatiques. L'uranium, bien qu'il ne soit pas explicitement mentionné, est indispensable au fonctionnement du parc nucléaire. En Chine, l'énergie nucléaire est classée parmi les technologies vertes, ce qui stimule son développement et, indirectement, reconnaît l'uranium comme ressource stratégique pour l'avenir énergétique du pays. Ces approches démontrent que l'inclusion du nucléaire dans les taxonomies durables est une tendance mondiale porteuse de bénéfices environnementaux et économiques.

L'inclusion récente de l'énergie nucléaire dans la Loi n° 14.766, promulguée en 2024, dans le cadre du Programme d'Accélération de la Transition Énergétique (PATEN), confirme l'importance de cette source pour la stratégie bré-

silienne de décarbonation et de sécurité énergétique. Cette mesure reconnaît officiellement le nucléaire comme source durable, ouvrant la voie à de nouveaux investissements et financements dans le secteur. Elle aligne également le Brésil avec les meilleures pratiques internationales, garantissant une planification énergétique plus résiliente et efficace.

Toutefois, l'absence du nucléaire dans la TSB nuit à la cohérence de la politique climatique brésilienne et limite l'attractivité du secteur pour les investisseurs. Sans cette reconnaissance, les financements destinés aux projets durables risquent d'être orientés vers des technologies qui, bien que renouvelables, n'offrent pas la stabilité de production que permet le nucléaire. Le Brésil dispose de vastes réserves d'uranium et maîtrise l'ensemble du cycle du combustible, ce qui lui permet de développer cette filière dans une logique d'autonomie énergétique.

Par ailleurs, l'énergie nucléaire est cruciale pour la décarbonation des secteurs industriels difficiles à électrifier, comme la sidérurgie ou la production d'hydrogène propre. Le Brésil, qui souhaite jouer un rôle de leader dans le marché de l'hydrogène vert, peut tirer un grand bénéfice du nucléaire pour garantir une production compétitive et durable.

Face à ce constat, il est impératif que l'énergie nucléaire soit intégrée à la Taxonomie Durable Brésilienne. Son exclusion va à l'encontre des preuves scientifiques disponibles et introduit un biais injustifié contre une technologie essentielle à la transition énergétique. Son inclusion permettra au Brésil de mobiliser des investissements, de consolider son mix électrique bas carbone et de garantir la sécurité énergétique des générations futures. Il appartient désormais aux décideurs politiques de faire un choix éclairé, fondé sur la science et sur l'intérêt national.

Dans ce numéro, vous trouverez un article complet sur ce sujet. Nous abordons également dans les pages suivantes l'utilisation des SMR et micro-réacteurs dans l'industrie pétrolière, la prolongation de la durée de vie d'Angra 1, la médecine nucléaire, le coût de l'approvisionnement en électricité et le cadre réglementaire du secteur.

Le secteur nucléaire se trouve à un tournant, et nous sommes heureux de partager avec vous, cher lecteur, cette phase de transformation, d'innovation et d'optimisme.

Bonne lecture ! ■

*Celso Cunha, Président de l'ABDAN, et Leonam Guimarães, Directeur Technique de l'ABDAN*



# DÉFIS RÉGLEMENTAIRES DU SECTEUR NUCLÉAIRE BRÉSILIEN : OPPORTUNITÉS ET OBSTACLES

**CONEXÃO NUCLEAR MET EN LUMIÈRE LES PRINCIPAUX DÉFIS AUXQUELS EST CONFRONTÉ LE SECTEUR NUCLÉAIRE AUJOURD'HUI.**

L'industrie nucléaire brésilienne fait face à une série de défis réglementaires et d'infrastructure qui impactent directement sa capacité de croissance et d'efficacité. Malgré le potentiel significatif de l'énergie nucléaire pour le pays, des obstacles tels que la complexité du cadre réglementaire, le manque d'investissements dans les infrastructures, ainsi que des préoccupations environnementales et sécuritaires, continuent de freiner le développement du secteur.

En particulier, l'utilisation de l'uranium — de son extraction à son traitement et à son utilisation dans les centrales nucléaires — nécessite une réglementation solide et adaptée pour atténuer les risques et garantir la sécurité publique et environnementale. Le magazine Conexão Nuclear a interrogé Felipe Tavares, responsable des minéraux uranifères chez Indústrias Nucleares do Brasil (INB), et Sanzio Soares, directeur du développement de nouveaux projets, afin d'analyser les principaux obstacles réglementaires et infrastructurels actuels et de discuter des voies d'amélioration du cadre réglementaire. L'objectif : non seulement lever ces barrières, mais aussi favoriser une gestion plus efficace et plus sûre de l'uranium, en s'alignant sur les meilleures pratiques internationales pour promouvoir un développement durable de l'énergie nucléaire au Brésil.

## LE BRÉSIL : AU BON ENDROIT, AU BON MOMENT ?

À un moment où la demande mondiale en uranium devrait bientôt dépasser l'offre, le Brésil se trouve dans une position stratégique pour accroître sa production en exploitant ses réserves et le potentiel de nouveaux projets miniers. Cependant, cette dynamique se heurte à des défis réglementaires et logistiques majeurs, notamment en matière de sécurité,

de durabilité et de gouvernance.

Lors d'une conférence récente, Felipe Tavares a souligné que la demande mondiale en uranium devrait excéder l'offre au cours de la prochaine décennie si aucun investissement significatif n'est fait dans l'exploration de nouveaux gisements. Dans le cas brésilien, bien que cette dynamique représente un risque — car la production nationale actuelle ne suffit pas à couvrir la demande des centrales d'Angra 1 et 2 — elle offre aussi une opportunité pour développer de nouveaux projets. « Nous disposons encore de gisements à fort potentiel d'exploration et à faible coût de production, ce qui est rare dans le monde aujourd'hui », a-t-il déclaré.

Le Brésil offre donc un contexte favorable à l'investissement dans l'exploitation de l'uranium, à condition que le cadre réglementaire soit renforcé et que l'infrastructure soit améliorée.

## UN MODÈLE DE PARTENARIAT AVEC LE SECTEUR PRIVÉ

Avec le lancement du Programme de Partenariats pour la Prospection et l'Exploitation de l'Uranium (PPLU), l'INB cherche à intégrer le secteur privé dans l'exploration de l'uranium, une mesure clé pour augmenter la production domestique et réduire la dépendance aux importations. « Notre modèle prévoit la sélection d'entreprises qualifiées pour relancer des recherches interrompues depuis plus de 40 ans, avec un engagement ferme envers les meilleures pratiques ESG », a expliqué Felipe.

Cependant, il a précisé que le succès de ce modèle dépend encore d'ajustements réglementaires.

La loi n° 14.514/2022, qui autorise des partenariats pour la prospection et l'exploitation de l'uranium, pose déjà les bases de nouvelles opportunités

commerciales. Sanzio Soares, directeur du développement de nouveaux projets de l'INB, insiste : « De nombreux aspects de la réglementation minière nucléaire doivent être clarifiés par les autorités et le gouvernement fédéral afin d'offrir plus de prévisibilité aux contrats et plus de sécurité juridique aux investisseurs potentiels. »

### **FORMATION ET INFRASTRUCTURE : DES FREINS À SURMONTER**

Un autre obstacle important est le manque de main-d'œuvre spécialisée. Les écoles de géologie et d'ingénierie minière ne forment que très peu de professionnels spécialisés dans les matériaux radioactifs. Il est nécessaire de développer ces compétences à travers des programmes de soutien spécifiques. De plus, les laboratoires commerciaux spécialisés en analyses géochimiques ne sont généralement pas préparés à manipuler des échantillons radioactifs, ce qui limite le développement sécurisé de la chaîne de valeur.

Felipe souligne également l'importance de la radioprotection. « Il y a une pénurie de laboratoires spécialisés pour travailler dans ce domaine », a-t-il ajouté.

### **UN CADRE RÉGLEMENTAIRE PLUS SOLIDE POUR UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DURABLE**

La discussion autour du cadre réglementaire dépasse la seule sphère de l'exploitation minière. Elle englobe également les enjeux de sécurité environnementale et de santé publique. Pour les dirigeants de l'INB, la clé du succès réside dans l'adoption des meilleures pratiques internationales afin de minimiser les impacts sociaux et environnementaux. « Il n'y a pas de transition énergétique sans la participation du nucléaire », rappellent-ils.

### **EN CONCLUSION**

Le Brésil est à la croisée des chemins : exploiter son potentiel minéral tout en garantissant la sécurité et la durabilité de ses projets. L'amélioration du cadre réglementaire sera déterminante pour faire de l'exploitation de l'uranium une activité rentable, sécurisée et durable. Le futur du secteur nucléaire brésilien dépend de décisions stratégiques qui, si elles sont bien conduites, peuvent positionner le pays comme un acteur clé de la production mondiale d'énergie propre. ■

## **« LE BRÉSIL OFFRE UN CADRE FAVORABLE AUX INVESTISSEMENTS DANS L'EXPLOITATION DE L'URANIUM, À CONDITION DE RENFORCER LE CADRE RÉGLEMENTAIRE ET D'AMÉLIORER L'INFRASTRUCTURE. »**

### **ENCADRÉ : PROGRAMME DE PARTENARIATS POUR LA PROSPECTION ET L'EXPLOITATION DE L'URANIUM (PPLU)**

Le programme Pro-Urânio, ou Programme de Partenariats pour la Prospection et l'Exploitation de l'Uranium et des Minéraux Associés, vise à établir des partenariats entre l'INB et le secteur minier afin de permettre la production nationale de ce minerai stratégique. Cela éliminerait la dépendance aux importations et permettrait même l'exportation, ajoutant une nouvelle ressource au portefeuille de l'INB.

Le modèle prévoit la sélection de partenaires qualifiés via un appel d'offres, selon leur capacité opérationnelle, financière et leur conformité aux principes ESG. L'INB apporte les gisements miniers — résultat d'investissements publics importants — et garde la responsabilité exclusive des activités relevant du monopole d'État, comme l'exportation du concentré d'uranium non destiné au marché interne. Le partenaire, quant à lui, prend en charge les coûts d'implantation et d'exploitation, en contrepartie d'une part des bénéfices définie contractuellement.

# LA MÉDECINE NUCLÉAIRE FACILITE L'ANALYSE ET LE TRAITEMENT DES MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES

**LES PROGRÈS TECHNOLOGIQUES OFFRENT DE NOUVELLES VOIES POUR UN DIAGNOSTIC PRÉCOCE ET DES TRAITEMENTS PLUS EFFICACES**

Ces dernières années, la médecine nucléaire s'est imposée comme un outil prometteur dans la lutte contre les maladies neurodégénératives telles qu'Alzheimer et Parkinson. Les avancées technologiques, notamment grâce à l'utilisation de la tomographie par émission de positons (TEP), ont permis d'adopter une nouvelle approche dans le diagnostic et, potentiellement, le traitement de ces pathologies invalidantes. Nous avons interrogé le professeur Carlos Alberto Buchpiguel, directeur de la Division de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire du Complexe Hospitalier des Cliniques de la Faculté de Médecine de l'Université de São Paulo (FM-USP), qui partage ses connaissances sur ces avancées et les perspectives futures.

## **PROGRÈS TECHNOLOGIQUES ET DIAGNOSTIC DES MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES**

Selon le professeur Carlos Alberto Buchpiguel, l'évolution majeure de ces dernières décennies réside dans la meilleure compréhension des mécanismes moléculaires à l'origine des maladies neurodégénératives. Autrefois, l'absence d'outils pour identifier ces altérations moléculaires au niveau subcellulaire constituait une grande difficulté. « De nombreux modèles physiopathologiques reposaient sur des théories, sans base diagnostique solide », explique-t-il.

Les progrès technologiques ont permis d'identifier des anomalies dans la production ou le dépôt de protéines anormales dans le cerveau. Dans la maladie d'Alzheimer, par exemple, ces protéines — telles que la bêta-amyloïde — s'accumulent de façon pathologique, formant des amas neurofibrillaires qui endommagent les cellules nerveuses. Ces altérations déclenchent des réactions inflammatoires et immu-

nitaires qui aboutissent à une perte neuronale typique de la neurodégénérescence.

Ces découvertes ont permis le développement de nouvelles méthodes de diagnostic et de traitement. L'utilisation d'outils d'imagerie comme la TEP est essentielle pour détecter ces anomalies de manière non invasive et précoce. « Aujourd'hui, nous pouvons visualiser ces protéines anormales dans le cerveau avant même l'apparition de symptômes cliniques graves, ouvrant la voie à des diagnostics plus rapides et plus efficaces », commente le professeur.

## **LA CONTRIBUTION DE LA TEP AU DIAGNOSTIC PRÉCOCE**

La tomographie par émission de positons (TEP) s'est distinguée par sa capacité à identifier les modifications moléculaires du cerveau, telles que le dépôt de protéines bêta-amyloïdes, à un stade précoce. « Auparavant, il n'était possible de confirmer ces dépôts qu'à l'autopsie, ce qui rendait difficile le dia-

---

**« SI NOUS PARVENONS À CONCENTRER NOS EFFORTS, NOUS POURRONS ATTEINDRE UN NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT COMPARABLE À CELUI DES CENTRES LES PLUS AVANCÉS DU MONDE. »**

---

gnostic précoce », explique Buchpiguel. Aujourd'hui, les biomarqueurs utilisés en TEP permettent de détecter ces dépôts de manière non invasive, dès les premiers stades de la maladie.

Ce diagnostic précoce a des implications directes sur le traitement. Bien que les nouveaux anticorps visant à bloquer la formation des dépôts de protéines anormales aient montré des résultats modestes, l'espoir subsiste que ces thérapies puissent ralentir, voire interrompre, la progression de la maladie. « Même si ces traitements ne sont pas encore curatifs, ils constituent un progrès significatif par rapport à ce que nous avions il y a quelques décennies », évalue le spécialiste.

L'identification de ces anomalies par la TEP permet également de mieux sélectionner les patients susceptibles de bénéficier de ces thérapies innovantes, augmentant ainsi les chances de réussite. « C'est l'un des plus grands progrès dans le domaine des maladies neurodégénératives. Nous pouvons sélectionner les patients qui répondront le mieux aux nouveaux médicaments », explique Buchpiguel.

## DÉFIS ET LIMITES DE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

Malgré les avancées, des défis majeurs subsistent, tant sur le plan technologique qu'en matière d'accès aux traitements. Les technologies d'imagerie de pointe et les nouveaux radiopharmaceutiques ont un coût élevé, ce qui limite l'accès, notamment pour les patients des classes sociales les plus modestes. « Le coût de ces nouveaux traitements est élevé et ils ne sont souvent pas disponibles dans le système de santé public », souligne le professeur.

De plus, la recherche en médecine nucléaire au Brésil se heurte à un obstacle supplémentaire : les brevets internationaux qui protègent ces traitements innovants. Le développement d'alternatives nationales et la production de médicaments génériques nécessitent encore du temps et des investissements, même si la qualification des chercheurs brésiliens est un point fort. « Il nous manque simplement plus de concentration et d'investissement. Si nous pouvons concentrer nos efforts, nous pourrions atteindre un niveau de développement comparable à celui des centres les plus avancés du monde », affirme Buchpiguel.

## L'AVENIR DES THÉRAPIES FONDÉES SUR LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

Concernant l'avenir des thérapies nucléaires spécifiques aux maladies neurodégénératives, le professeur indique que, bien que l'utilisation d'agents radioactifs visant à détruire directement les protéines ne soit pas encore validée, le concept de « théranostique » est déjà exploré. « Le terme

théranostique fait référence à l'utilisation conjointe de méthodes de diagnostic et de traitement ciblant une même cible moléculaire. Nous voyons déjà cela avec la TEP, qui utilise des agents thérapeutiques pour bloquer la formation de protéines anormales, ce qui représente une forme de théranostique », explique-t-il.

Cependant, l'utilisation directe de la radiation pour traiter les maladies neurodégénératives — dans le but de détruire les protéines nocives dans le cerveau — fait encore face à de sérieuses limitations. « Le défi est d'éviter que la radiation n'endommage les tissus normaux environnants, ce qui pourrait être encore plus grave que les dépôts de protéines eux-mêmes », avertit-il. Pour l'instant, ce type de traitement reste au stade de la recherche, mais ouvre de nouvelles perspectives pour l'avenir de la médecine nucléaire. ■

### CARLOS BUCHPIGUEL EXPLIQUE QUE CES EXAMENS PEUVENT ÉGALEMENT ÊTRE UTILISÉS POUR DIAGNOSTIQUER L'ÉPILEPSIE ET LES AVC

La tomographie par émission de positons (TEP-CT) est un examen de pointe qui utilise des radiopharmaceutiques et des biomarqueurs pour identifier des anomalies cérébrales telles que la présence de protéines amyloïdes, caractéristiques de maladies comme Alzheimer. Cet examen permet non seulement de détecter des altérations pathologiques, mais aussi d'évaluer le dysfonctionnement synaptique, permettant ainsi un diagnostic plus précis et plus précoce. Il est également utile dans d'autres troubles neurologiques comme l'épilepsie, en localisant les foyers d'activité cérébrale anormale, et dans le diagnostic des accidents vasculaires cérébraux (AVC), en évaluant le flux sanguin cérébral plus rapidement et efficacement que des examens conventionnels comme l'IRM.

Malgré ses progrès, ces technologies restent concentrées dans des centres d'excellence comme l'Hôpital des Cliniques de l'USP, qui développe une unité de production de radiopharmaceutiques destinée aux patients du système de santé publique (SUS). Cela permet à la population la plus vulnérable d'accéder à ces examens avancés, bien que cette technologie ne soit pas encore largement disponible dans d'autres établissements publics. Dans le réseau privé, ces examens sont plus accessibles dans plusieurs villes du Brésil, reflétant une disparité dans l'accès à ces innovations.



# LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE (SMR) DANS L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE ET LA DURABILITÉ ÉNERGÉTIQUE

**LES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES ÉMERGENT COMME ALTERNATIVE POUR DÉCARBONER LA PRODUCTION DE PÉTROLE DANS DES ZONES ISOLÉES ET À INFRASTRUCTURE LIMITÉE**

Ces dernières années, le monde a assisté à une pression croissante en faveur de la décarbonation de l'industrie mondiale, en particulier dans le secteur du pétrole et du gaz. Bien que la transition énergétique soit un processus complexe, de nouvelles technologies apparaissent comme des alternatives viables pour garantir la continuité de la production tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Parmi les innovations les plus prometteuses figurent les Réacteurs Modulaires de Petite Taille (SMR), actuellement évalués par des entreprises du secteur comme une solution potentiellement révolutionnaire. Pour mieux comprendre comment ces réacteurs peuvent être appliqués à l'industrie pétrolière, nous avons interviewé le professeur Aquilino Senra, du Programme d'Ingénierie Nucléaire de la COPPE/UFRJ, spécialiste de l'énergie nucléaire et de ses applications industrielles.

## **LES SMR : UNE FLEXIBILITÉ DANS L'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE POUR LES RÉGIONS ISOLÉES**

Le professeur Aquilino explique que les SMR représentent une nouvelle génération de réacteurs nucléaires, plus petits et plus flexibles que les réacteurs conventionnels. « L'analyse initiale des SMR a montré qu'ils s'adaptent bien au profil de demande des activités de traitement du pétrole, fournissant une énergie thermique et électrique viable et sans carbone. »

Cette caractéristique est particulièrement pertinente pour les régions éloignées ou disposant

d'une infrastructure limitée, où l'approvisionnement énergétique constitue un défi constant. « Les SMR peuvent être installés directement sur le site d'une unité de production pétrolière, offrant ainsi une source d'énergie électrique et thermique fiable et continue. Leur fonctionnement à pleine puissance peut être maintenu pendant des périodes allant de 36 à 120 mois, assurant ainsi une opération stable et sans interruption », précise-t-il.

Selon Aquilino, l'un des grands avantages réside dans la possibilité de remplacer le réacteur après cette période de manière rapide, sans perturber significativement les opérations de l'installation. « L'utilisation de SMR élimine la dépendance aux combustibles fossiles acheminés sur site, ce qui réduit non seulement les coûts logistiques, mais élimine également les vulnérabilités liées aux interruptions d'approvisionnement en carburant. »

## **AVANTAGES ET DÉFIS TECHNIQUES**

Parmi les principaux atouts des SMR par rapport aux sources d'énergie traditionnelles comme les générateurs diesel figure leur capacité à fonctionner de manière continue et fiable pendant plusieurs années. « Les SMR fournissent une énergie de base stable, essentielle aux industries à forte consommation énergétique comme le secteur pétrolier. En outre, ils sont évolutifs et peuvent être installés selon l'augmentation des besoins de production », explique Aquilino.

Leur flexibilité est également soulignée par le spécialiste. La compacité de ces réacteurs permet leur transport vers des sites reculés, par voie ter-

## « LES SMR NE CONCURRENCENT PAS LES CENTRALES NUCLÉAIRES CONVENTIONNELLES, ILS ÉLARGISSENT L'UTILISATION ET LE POTENTIEL DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE POUR LE PROCESSUS DE DÉCARBONATION DE LA PRODUCTION DE PÉTROLE OFFSHORE. »

restre ou maritime, et leur installation rapide. Pour l'industrie pétrolière, cette capacité est cruciale, car de nombreuses opérations ont lieu dans des zones difficilement accessibles. « La modularité des SMR est un atout majeur. Leur petite taille permet de les adapter aux besoins spécifiques de chaque site, évitant ainsi une puissance excessive qui rendrait économiquement irréalisable l'usage de réacteurs de grande taille », affirme-t-il.

De plus, les SMR peuvent fournir de la chaleur de procédé, utilisée dans de nombreuses fonctions de l'industrie pétrolière, comme le raffinage, la production d'engrais ou encore d'hydrogène. « La production hybride d'électricité et de chaleur de haute qualité est un avantage majeur. Des températures de sortie allant de 250 °C à 500 °C sont idéales pour des processus comme la désulfurisation du pétrole lourd ou la fabrication de méthanol », ajoute-t-il.

Toutefois, malgré ces nombreux avantages, les SMR présentent aussi des défis techniques. La gestion des déchets nucléaires demeure une préoccupation majeure. « Les déchets générés par les réacteurs nucléaires nécessitent un stockage sécurisé sur de longues périodes, ce qui exige une infrastructure appropriée », souligne Aquilino. Il attire aussi l'attention sur la résistance d'une partie de la société à la technologie nucléaire, souvent associée à des risques d'accidents.

### SÉCURITÉ ET DURABILITÉ : L'AVENIR DES SMR

En matière de sécurité, les SMR offrent des avantages notables par rapport aux sources d'énergie classiques. Le professeur Aquilino explique que, grâce à leur concep-

tion modulaire, ces réacteurs peuvent être installés dans des structures protégées, comme des installations souterraines, les rendant moins vulnérables aux agressions externes ou aux défaillances. « L'utilisation de systèmes de sécurité passifs et innovants, reposant sur des forces naturelles comme la gravité ou la convection, rend les SMR plus fiables. De plus, de nombreux modèles utilisent des combustibles intrinsèquement plus sûrs, comme les pastilles TRISO, qui possèdent une triple couche de protection et résistent à des températures extrêmement élevées. »

En ce qui concerne la durabilité, les SMR se distinguent par l'absence d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ou d'autres gaz à effet de serre pendant leur fonctionnement. « L'utilisation des SMR pour la production d'électricité et de chaleur sans combustion de carburants fossiles constitue une contribution significative à l'atténuation du changement climatique », conclut Aquilino.

### DÉFIS RÉGLEMENTAIRES ET POTENTIEL D'ADOPTION À GRANDE ÉCHELLE

Malgré ces perspectives prometteuses, le professeur Aquilino souligne qu'il subsiste d'importants défis à relever pour une adoption généralisée des SMR dans l'industrie pétrolière. « Il existe des questions juridiques et réglementaires à résoudre. Le processus d'autorisation pour l'installation et l'exploitation des SMR est complexe et nécessite un cadre juridique solide pour garantir la sécurité et l'efficacité de cette technologie. »

Il ajoute que, bien qu'ils soient très utiles pour la décarbonation du secteur, les SMR ne sont pas en concurrence directe avec les centrales nucléaires classiques, mais élargissent le champ d'action de l'énergie nucléaire. « Les SMR représentent une solution viable pour la production d'électricité et de chaleur dans les installations pétrolières offshore, ce que les centrales classiques ne peuvent pas offrir en raison de leur échelle et de leur infrastructure plus lourde. »

### LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DE L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE

L'adoption des SMR dans l'industrie pétrolière pourrait bien être une révolution silencieuse, surtout en matière de réduction de la dépendance aux énergies fossiles et de réalisation des objectifs mondiaux de réduction des émissions de carbone. Toutefois, comme le rappelle le professeur Aquilino, des obstacles techniques et juridiques doivent encore être surmontés avant une implantation à grande échelle. La bonne nouvelle, c'est que l'intérêt pour cette technologie est croissant, et, à terme, elle pourrait devenir un pilier central dans la construction d'une industrie pétrolière plus propre et durable. ■

# MIKHAIL CHUDAKOV, DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT ET CHEF DU DÉPARTEMENT DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE L'AIEA

*Dans une interview exclusive accordée à Conexão Nuclear, Mikhail Chudakov, Directeur général adjoint et Chef du Département de l'énergie nucléaire de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), a partagé ses perspectives sur les défis et opportunités du secteur nucléaire, et détaillé comment la coopération internationale, notamment avec l'AIEA, peut renforcer les initiatives brésiliennes dans le domaine nucléaire. Retrouvez ci-dessous l'intégralité de l'entretien.*

**1 – Monsieur Chudakov, c'est un grand privilège de vous compter parmi les participants du NT2E au Brésil. Quelles sont vos principales attentes concernant cet événement, notamment en ce qui concerne le renforcement de la coopération internationale dans le secteur nucléaire ?**

La coopération internationale est essentielle pour assurer le succès à long terme du secteur nucléaire. Le salon Nuclear Trade & Technology Exchange joue depuis plus de trois décennies un rôle important dans la promotion du secteur nucléaire en Amérique latine, et j'espère que l'édition de cette année constituera une fois de plus une plateforme dynamique pour renforcer les accords de coopération existants et mettre en lumière de nouvelles opportunités de collaboration.

**2 – L'AIEA joue un rôle fondamental dans le soutien aux pays dans leur parcours de transition énergétique. Comment le Brésil, avec ses projets nucléaires en développement, peut-il bénéficier de la collaboration avec l'AIEA et avec d'autres pays de la région ?**

Le Brésil collabore déjà activement avec l'AIEA, qui constitue la principale plateforme pour le dialogue international et l'échange de connaissances dans les domaines liés à l'énergie nucléaire, et propose une large gamme de services de soutien aux pays qui entament seulement leur parcours nucléaire comme à ceux disposant de programmes bien établis. Cela inclut des missions d'évaluation par des pairs visant à examiner les pratiques en matière d'énergie nucléaire, de sûreté et de



sécurité, ainsi que des formations, ateliers et autres activités.

Le Brésil, bien sûr, appartient à cette dernière catégorie, avec une expérience opérationnelle dans le domaine de l'énergie nucléaire qui remonte au début des années 1980. Mais le secteur de l'énergie nucléaire évolue constamment, avec l'introduction de nouvelles technologies et l'optimisation des pratiques opérationnelles. Il y a toujours plus à apprendre. Même les exploitants les plus expérimentés peuvent — et doivent — s'efforcer de progresser.

En plus de son engagement auprès de l'AIEA, le Brésil peut également consulter d'autres pays nucléarisés de la région et du monde entier pour tirer parti des leçons apprises dans leurs projets.

**3 – Avec la focalisation croissante sur la durabilité et la sécurité énergétique, quels sont les défis les plus critiques auxquels est confrontée la communauté nucléaire mondiale aujourd'hui, et comment l'AIEA y répond-elle ?**

Bien que l'énergie nucléaire ait connu un regain d'intérêt ces dernières années et continue de se développer, plu-

Foto: Dean Calma / IAEA

sieurs obstacles doivent être surmontés pour garantir sa viabilité à long terme. Le financement adéquat est l'un de ces défis. En 2024, l'AIEA a relevé ses projections annuelles pour l'expansion de l'énergie nucléaire pour la quatrième année consécutive. Pour que ce scénario se concrétise, il faudra une augmentation significative des investissements mondiaux — au moins 125 milliards de dollars par an, contre environ 50 milliards par an entre 2017 et 2023.

L'AIEA aide les pays à analyser comment ils peuvent obtenir un financement supplémentaire pour l'énergie nucléaire, y compris du secteur privé. Notre dernière édition du rapport sur le changement climatique et l'énergie nucléaire, axée sur les finances, détaille les moyens d'atteindre cet objectif, comme l'adoption de mesures visant à renforcer la confiance des investisseurs grâce à des garanties de construction et à la prévisibilité des coûts, ainsi qu'à un engagement à construire plusieurs unités de réacteurs.

Le renforcement des compétences et le développement de la main-d'œuvre sont également cruciaux. Le développement proactif des talents est essentiel pour répondre aux besoins croissants du secteur nucléaire. L'AIEA prévoit que plus de 4 millions de personnes travailleront dans le secteur de l'énergie nucléaire d'ici 2050. On s'attend à ce qu'un tiers de la main-d'œuvre actuelle parte à la retraite d'ici 2030, et plus d'un million de nouveaux professionnels seront nécessaires pour combler les départs à la retraite et soutenir l'expansion significative de l'énergie nucléaire.

Des pratiques solides de gestion des connaissances et de développement des ressources humaines sont indispensables. Le soutien de l'AIEA dans ce domaine comprend l'International Nuclear Management Academy (INMA), qui aide les universités à créer des programmes de master en gestion des technologies nucléaires, ainsi que les Nuclear Knowledge Management Schools, qui fournissent une éducation et une formation aux jeunes professionnels sur le développement et la mise en œuvre de programmes de gestion des connaissances dans les institutions scientifiques et technologiques nucléaires.

#### **4 – L'énergie nucléaire est un élément clé du débat sur la décarbonation du mix énergétique. Quelle est votre vision du rôle futur de l'énergie nucléaire dans les politiques énergétiques mondiales, notamment dans les pays en développement comme le Brésil ?**

La décision d'introduire ou d'étendre un programme nucléaire appartient exclusivement aux pays concernés lorsqu'ils envisagent leurs diverses options énergétiques. C'est un processus long et potentiellement complexe, qui reflète

l'importance de s'engager à long terme pour assurer la réussite d'un programme nucléaire.

Nous nous réjouissons de voir autant de pays s'enthousiasmer pour l'énergie nucléaire, et tous les indicateurs pointent vers une expansion de la capacité nucléaire dans les années à venir.

Il existe désormais un consensus mondial, établi lors de la COP28 à Dubaï, selon lequel la transition vers une énergie propre nécessite l'énergie nucléaire. Cette dernière a été incluse dans le Global Stocktake lors de cette réunion cruciale, avec les 198 pays signataires de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques appelant à accélérer le déploiement des technologies d'énergie propre, y compris le nucléaire.

Lors de ce même événement, 22 pays se sont engagés à tripler leur capacité nucléaire d'ici 2050, un chiffre qui est passé depuis à 31. Il est clair que l'énergie nucléaire a un rôle à jouer tant dans les pays développés que dans les pays en développement, et pas seulement dans la production d'électricité.

Elle peut également alimenter de nombreuses applications non électriques, notamment la désalinisation de l'eau de mer, la production d'hydrogène et le chauffage urbain.

L'avenir de l'énergie nucléaire est prometteur, mais il reste encore beaucoup à faire pour qu'elle atteigne le niveau que nous savons qu'elle peut atteindre.

#### **5 – Le Brésil a d'importants projets nucléaires en cours, tels que la construction de nouvelles centrales. Quelles sont les principales recommandations de l'AIEA pour garantir que ces projets répondent aux normes les plus strictes de sécurité et d'efficacité opérationnelle ?**

La sûreté est une priorité absolue dans toutes les installations nucléaires, y compris bien sûr les centrales nucléaires. La sécurité nucléaire est la responsabilité de chaque État. L'AIEA fournit des orientations sur les bonnes pratiques à travers ses Normes de sûreté et ses évaluations internationales, en plus d'organiser des ateliers, des formations et de publier des documents techniques comme notre série Nuclear Energy Series, ainsi que d'autres activités de renforcement des capacités.

L'efficacité opérationnelle est également essentielle pour assurer la durabilité de l'énergie nucléaire. Les centrales nucléaires peuvent fournir de l'électricité de base ou fonctionner en mode « suivi de charge », ajustant leur production en fonction des variations de la demande d'électricité en temps réel.

Des pratiques solides en matière de formation peuvent également améliorer l'efficacité des centrales. Des opérateurs bien formés sont des opérateurs efficaces. ■



# PROLONGEMENT DE LA DURÉE DE VIE D'ANGRA 1 AVEC SÉCURITÉ ET EFFICACITÉ

**ELETRONUCLEAR SE PRÉPARE À GARANTIR LE FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE JUSQU'EN 2044 GRÂCE À UN SOLIDE PROGRAMME DE MODERNISATIONS ET D'INVESTISSEMENTS DANS LA SÉCURITÉ**

La centrale nucléaire d'Angra 1, l'une des principales sources d'énergie du Brésil, fait actuellement l'objet d'un processus de prolongement de sa durée de vie opérationnelle, ce qui lui permettra de fonctionner jusqu'en 2044. Ce processus représente un défi majeur pour Eletronuclear, l'entreprise responsable de la gestion de la centrale, qui investit des ressources substantielles et met en œuvre des changements significatifs pour assurer sa sécurité et son efficacité pour les 20 prochaines années.

Dans une interview exclusive accordée à Conexão Nuclear, Sinval Gama, directeur technique d'Eletronuclear, a détaillé les principales dif-

ficultés rencontrées par l'entreprise dans le cadre de ce processus, ainsi que les investissements nécessaires pour garantir la continuité de fonctionnement d'Angra 1.

## DÉFIS TECHNIQUES ET OPÉRATIONNELS

« Le programme de prolongement de la durée de vie d'Angra 1 comprend un ensemble de projets techniques et opérationnels visant à préserver les niveaux de sécurité et à améliorer les performances de la centrale », explique Gama. Selon lui, les activités du programme englobent la gestion du vieillissement, la modernisation des systèmes et la mise en



Foto: Rodrigo Saldon



œuvre de nouvelles exigences pour répondre aux exigences des organismes de régulation, comme la Commission nationale de l'énergie nucléaire (CNEN) et l'Institut brésilien de l'environnement et des ressources naturelles renouvelables (IBAMA).

Le processus, déjà en cours depuis plus de 20 ans, a inclus une analyse rigoureuse de tous les aspects techniques, opérationnels et financiers de la centrale, aboutissant à une série de modernisations et de remplacements d'équipements critiques. « Le renouvellement de la licence d'exploitation a été demandé en 2019, après une évaluation approfondie fondée sur les leçons tirées d'autres centrales dans le monde. Cela a conduit à l'approbation, en décembre 2024, de la prolongation de l'exploitation de la centrale jusqu'en 2044 », a déclaré Gama.

## INVESTISSEMENTS SIGNIFICATIFS POUR ASSURER LA SÉCURITÉ ET L'EFFICACITÉ

Le programme de prolongement de la durée de vie d'Angra 1 nécessite un investissement conséquent, estimé à environ 3,2 milliards de R\$. Ces ressources seront consacrées à divers projets, allant de la modernisation des systèmes de contrôle au remplacement de composants essentiels à la sécurité et à la performance de la centrale. Gama détaille certains des projets principaux : « Nous investissons dans le remplacement de capteurs, soupapes de sécurité, systèmes de surveillance, et dans la modernisation des systèmes électriques et d'instrumentation, ainsi que dans des améliorations des turbines et des systèmes de refroidissement. »

Selon lui, ces investissements visent non seulement à assurer l'exploitation sécurisée de la centrale, mais aussi à générer des bénéfices économiques et sociaux pour les communautés avoisinantes. « Les projets créent des emplois et des revenus pour les communautés locales, tout en assurant la continuité du fonctionnement de la centrale, essentielle pour l'approvisionnement énergétique du pays », a-t-il souligné.

## IMPACT SUR LE MIX ÉNERGÉTIQUE BRÉSILIEN

Le maintien d'Angra 1 en activité jusqu'en 2044 a un impact direct sur le mix énergétique brésilien, en contribuant à hauteur de 640 MW d'énergie ferme au Système Interconnecté National. « La centrale continuera de fournir une énergie stable et de base, sans qu'il soit nécessaire de renforcer le réseau de transmission », a affirmé Gama. Il souligne que, grâce aux investissements prévus dans la prolongation de vie, la centrale sera essentielle pour répondre à la demande croissante en électricité au Brésil.

## ENGAGEMENT EN FAVEUR DE LA SÉCURITÉ ENVIRONNEMENTALE ET DES COMMUNAUTÉS

L'un des points les plus critiques du processus de prolongement d'Angra 1 a été le respect des exigences environnementales et de sécurité. La préservation de l'environnement et la sécurité des communautés locales sont garanties par un programme exhaustif de surveillance couvrant toute la région environnante, afin de vérifier, enregistrer et garantir l'absence d'impacts environnementaux liés à l'exploitation des centrales. « Nous respectons rigoureusement toutes les exigences des autorités de régulation, telles que la CNEN et l'IBAMA, pour garantir que l'exploitation de la centrale se fasse de manière sûre et responsable », affirme Gama.

## ENSEIGNEMENTS POUR L'AVENIR

Forte de l'expérience acquise dans l'exploitation d'Angra 1, Eletronuclear prévoit d'appliquer les leçons tirées à la modernisation et à l'exploitation des autres unités, comme Angra 2 et Angra 3. « Nous améliorons constamment nos processus, en nous appuyant sur les enseignements d'Angra 1, pour garantir que les futures opérations soient encore plus sûres et plus efficaces », déclare Gama. Le programme de prolongation de la durée de vie d'Angra 2 est déjà en phase de planification, avec des études en cours pour permettre à l'unité de fonctionner pendant 20 années supplémentaires.

La décision de prolonger la durée de vie d'Angra 1 constitue une étape importante pour garantir un avenir énergétique plus sûr et durable au Brésil. Eletronuclear continue d'investir dans la modernisation de ses installations, en maintenant un engagement ferme envers la sécurité, l'efficacité et la durabilité – des éléments essentiels pour une exploitation à long terme. ■

**« LES PROJETS CRÉENT DES EMPLOIS ET DES REVENUS POUR LES COMMUNAUTÉS LOCALES, TOUT EN ASSURANT LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE, ESSENTIELLE POUR L'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE DU PAYS. »**

# TAXONOMIE DURABLE : LE RÔLE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE AU BRÉSIL

## IL EST TEMPS DE S'INSPIRER DE L'EXEMPLE D'AUTRES PAYS

Ces dernières années, le débat sur les taxonomies durables a pris une importance mondiale croissante, devenant un outil essentiel pour orienter les investissements et les initiatives des entreprises en accord avec les objectifs de développement durable. Ces classifications définissent les activités économiques pouvant être considérées comme durables, promouvant ainsi un avenir plus vert et plus résilient. Dans ce contexte, l'énergie nucléaire se démarque comme une solution stratégique pour la décarbonation, la sécurité énergétique et le développement économique mondial.

Des pays comme la Chine ou les membres de l'Union européenne ont déjà reconnu que l'énergie nucléaire contribue de manière significative à la transition énergétique. Dans l'UE, elle a été incluse dans la Taxonomie Durable comme une « activité de transition », à condition de répondre à des critères stricts, tels que la gestion sûre des déchets radioactifs et la garantie financière du démantèlement. En Chine, le secteur nucléaire est considéré comme une technologie verte, ce qui stimule les investissements dans les réacteurs avancés et les sources à faibles émissions de carbone.

Au Brésil, cependant, l'énergie nucléaire n'a pas encore été incluse dans la Taxonomie Durable Brésilienne (TSB), ce qui suscite l'inquiétude des experts et parties prenantes du secteur. Cette absence est perçue comme une lacune critique, étant donné le rôle de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique national et sa contribution aux objectifs climatiques mondiaux.

### L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EST ESSENTIELLE POUR LE BRÉSIL

Selon Eliene Silva, de la coordination de la Taxonomie Brésilienne au sein du Comité de Durabilité d'ABDN, « l'exclusion de l'énergie nucléaire de la Taxonomie Durable Brésilienne ne reflète pas le rôle stratégique de cette source pour le pays et pour le monde. Alors que le Brésil hésite à la reconnaître, d'autres nations bénéficient déjà de son inclusion dans leurs taxonomies nationales ». Pour elle, inclure l'énergie nucléaire dans la TSB permettrait non seulement d'attirer de nouveaux investissements, mais aussi de renforcer la position du Brésil sur la scène énergétique internationale.

Leonardo Paredes, consultant technique d'ABDN, sou-

ligne que « l'énergie nucléaire est largement reconnue comme propre et sûre, et son exclusion de la TSB va à l'encontre des meilleures pratiques internationales ». Il rappelle que l'énergie nucléaire est non seulement une solution de décarbonation, mais aussi un pilier pour assurer la sécurité énergétique et promouvoir le développement socioéconomique dans plusieurs régions du Brésil.

### L'URANIUM COMME RESSOURCE STRATÉGIQUE

L'inclusion de l'uranium dans la taxonomie est également cruciale. Le Brésil détient la septième plus grande réserve mondiale d'uranium, une ressource stratégique pouvant être exploitée de manière moderne et responsable. « L'extraction d'uranium a évolué vers des technologies plus durables, réduisant les impacts environnementaux et générant des opportunités de développement régional », explique Leonam dos Santos Guimarães, directeur technique d'ABDN.

Leonam souligne également que le Brésil a le potentiel pour devenir un important exportateur d'uranium, contribuant à la fois à son économie et à la sécurité énergétique mondiale. « L'uranium est essentiel à l'autonomie du programme nucléaire brésilien, permettant de répondre aux besoins internes tout en augmentant la présence du pays sur le marché international », affirme-t-il.

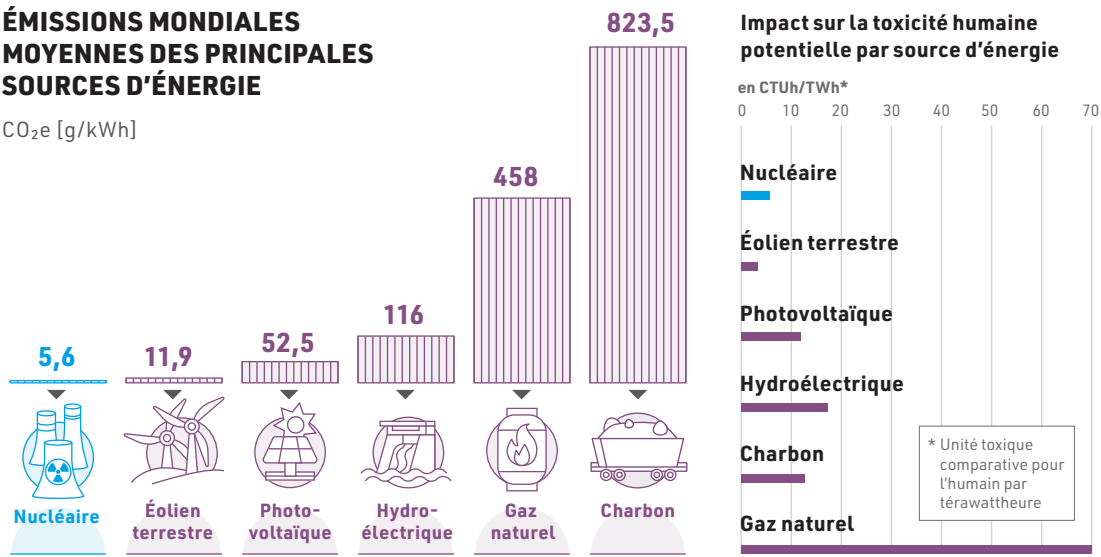
### UN AVENIR AVEC UNE ÉNERGIE PROPRE ET SÛRE

Le consensus des experts est clair : l'énergie nucléaire et l'uranium sont fondamentaux pour l'avenir énergétique du Brésil et pour ses engagements climatiques. L'exclusion de cette source de la Taxonomie Durable Brésilienne constitue un recul, alors que le monde entier reconnaît le nucléaire comme une solution incontournable à la transition énergétique.

« Suivre l'exemple de la Chine et de l'Union européenne est une opportunité pour le Brésil de réaffirmer son engagement envers l'Accord de Paris et d'attirer les investissements nécessaires à l'expansion de son mix énergétique nucléaire », conclut Leonardo Paredes. L'inclusion du nucléaire dans la TSB permettrait aussi de renforcer la coopération internationale, stimuler l'innovation technologique

ÉMISSIONS MONDIALES  
MOYENNES DES PRINCIPALES  
SOURCES D'ÉNERGIE

CO<sub>2</sub>e [g/kWh]



Source: UNECE, 2022

et bâtir un mix énergétique plus propre, sûr et compétitif. Ainsi, choisir d'intégrer l'énergie nucléaire et l'uranium dans la taxonomie comme solutions durables est une dé-

cision stratégique – et indispensable – pour que le Brésil joue un rôle de leader dans la transition énergétique mondiale. ■

TAXONOMIES

1. UNION EUROPÉENNE

L'énergie nucléaire est reconnue dans la taxonomie de l'UE comme une activité de transition pour la lutte contre le changement climatique, sous réserve de critères techniques stricts garantissant sa durabilité. Parmi eux figurent la gestion sûre des déchets, l'absence de préjudice à d'autres objectifs environnementaux, et la garantie financière pour le démantèlement. L'uranium, bien que non explicitement listé comme matériau critique, est essentiel au fonctionnement des réacteurs entrant dans les critères de durabilité de la taxonomie.

2. CHINE (TAXONOMIE VERTE CHINOISE)

En Chine, l'énergie nucléaire est classée comme technologie verte, avec des incitations majeures à l'investissement dans de nouveaux projets nucléaires et le développement de réacteurs avancés. L'uranium, bien que non détaillé explicitement, est implicitement reconnu pour son rôle crucial dans le programme nucléaire chinois, l'un des plus ambitieux au monde, avec plus de 158 réacteurs prévus. Ce minerai est donc essentiel à la stratégie énergétique du pays.

3. ÉTATS-UNIS

Les États-Unis comptent 95 réacteurs en service et prévoient d'en construire 13 de plus [1][3]. Bien que le pays

ne dispose pas d'une taxonomie officielle, le gouvernement considère l'énergie nucléaire comme une source propre, soutenue par des politiques comme l'Inflation Reduction Act, qui favorise la transition vers une énergie bas carbone. L'uranium est reconnu comme matériau critique par l'U.S. Geological Survey, du fait de son importance stratégique pour la sécurité énergétique et l'alimentation des réacteurs.

4. CANADA

Avec 17 réacteurs opérationnels et 9 projets en cours [1], le Canada inclut le nucléaire dans ses critères de financement durable. Bien que l'uranium ne soit pas explicitement cité dans la taxonomie canadienne, il est considéré implicitement, le pays étant l'un des plus grands producteurs mondiaux d'uranium [2], ce qui renforce son importance pour le secteur nucléaire.

[1] World Nuclear Association (WNA), 2025 : <https://wna.org/indigital.co/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide> [2] World Nuclear Association (WNA), 2024 : <https://world-nuclear.org/Information-Library/Facts-and-Figures/Uranium-production-figures> [3] World Nuclear Industry Status Report, 2025 : <https://www.worldnuclearreport.org/reactors.html#tab=iso>

# POURQUOI LE BRÉSIL INSISTE-T-IL À IGNORER LE COÛT RÉEL DE L'ÉNERGIE ?

**COMMENT LES DISTORSIONS DANS LA COMPARAISON ENTRE LES SOURCES D'ÉNERGIE IMPACTENT L'AVENIR ÉNERGÉTIQUE DU PAYS**

Le débat sur la transition énergétique au Brésil est marqué par une vision partielle, et souvent erronée, des coûts réels de la production d'électricité. La comparaison simpliste entre le coût actualisé de l'énergie (LCOE) de l'énergie nucléaire et celui des sources renouvelables variables, comme le solaire et l'éolien, ignore des facteurs essentiels tels que les coûts systémiques, les besoins en solutions de secours (backup) et la stabilité du réseau. Cette distorsion a un coût élevé pour le consommateur et pour la sécurité énergétique du pays.

L'ABDAN, ainsi que d'autres entités et entreprises du secteur, soulèvent ce sujet de manière récurrente, mais se heurtent à la résistance de certains acteurs qui persistent dans une comparaison erronée et incomplète. La discussion sur les coûts ne peut se limiter au niveau de la centrale : contrairement à ce qu'on veut faire croire, l'énergie produite n'est pas toujours disponible au moment de la demande maximale. Que se passe-t-il lorsque les sources intermittentes ne parviennent pas à répondre à la charge nécessaire ? Qui paie la facture de l'instabilité du système ?

La solution la plus rapide et naturelle est de recourir aux centrales thermiques à gaz, mais ce choix génère également des coûts supplémentaires, notamment dans un contexte où le prix du carbone devrait atteindre 100 dollars US par tonne après 2030 – date prévue de mise en service d'Angra 3 –, selon les principales publications internationales. Aux États-Unis et en Europe, ce débat est déjà une réalité, tandis qu'au Brésil, le choix d'ignorer ce facteur continue de bénéficier uniquement à ceux qui refusent de regarder vers l'avenir.

Un autre point négligé est la dépendance aux barrages hydroélectriques comme solution de secours pour les sources intermittentes. Le Brésil fait face à des défis croissants liés aux crises hydriques, aux incendies et à l'utilisation multiple de l'eau pour l'agriculture, la consommation humaine et la navigation. Lorsqu'il n'y a pas assez d'eau, il ne reste que les centrales thermiques – et le coût élevé que ces opérations imposent au consommateur.

Même des solutions comme l'adoption de batteries pour compenser l'intermittence du solaire et de l'éolien se

heurtent à des limites économiques. Actuellement, le coût actualisé de l'énergie pour une batterie avoisine les 200 dollars US par mégawattheure – un montant prohibitif que peu sont prêts à inclure dans leurs comparaisons.

Pendant ce temps, l'énergie nucléaire reste marginalisée dans le débat, bien qu'elle soit une solution fiable, à coût prévisible et à faibles émissions de carbone. Dans les pays développés, cette réalité est déjà bien établie, avec 28 nations engagées à tripler leur capacité nucléaire d'ici 2050, comme convenu lors des COP 28 et 29. Pourquoi le Brésil va-t-il à contre-courant de ce mouvement mondial ?



## QUE DIT LE MONDE ?

Pour approfondir ce débat et apporter une vision internationale, l'ABDAN s'est appuyée sur des études d'experts des principales institutions mondiales du secteur : la NEA (Nuclear Energy Agency), l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), la WNA (World Nuclear Association) et l'AIE (Agence internationale de l'énergie). Ces études démontrent pourquoi les coûts de production d'électricité doivent être analysés de manière large et réaliste, en prenant en compte non seulement le coût de la centrale, mais aussi les impacts systémiques et les externalités environnementales et économiques.

La réalité est que le Brésil ne peut plus se permettre d'ignorer cela. Maintenir une comparaison biaisée entre les sources d'énergie, c'est persister dans une erreur coûteuse pour le consommateur et pour la sécurité énergétique du pays. Le débat doit être technique et fondé – et non manipulé par des intérêts qui perpétuent une vision erronée du secteur électrique brésilien.

**“COMPARER  
UNIQUEMENT  
LE COÛT DE  
PRODUCTION À LA  
CENTRALE, SANS  
PRENDRE EN  
COMPTE LES COÛTS  
SYSTÉMIQUES ET  
LES EXTERNALITÉS,  
CONDUIT À  
DES DÉCISIONS  
ERRONÉES  
QUI PEUVENT  
METTRE EN PÉRIL  
LA SÉCURITÉ  
ÉNERGÉTIQUE DU  
PAYS.”**



## LE PARADIGME DE L'HÉLIOCENTRISME

Pendant des siècles, la connaissance humaine de la nature a été façonnée par l'observation directe, souvent superficielle. Un exemple classique est la croyance dans le géocentrisme : en regardant le ciel, il semblait évident que le Soleil tournait autour de la Terre. Cette idée a prévalu pendant longtemps, malgré la proposition d'Aristarque de Samos, au III<sup>e</sup> siècle av. J.-C., qui suggérait déjà que le Soleil – et non la Terre – était le centre de l'Univers. Ce n'est que plusieurs siècles plus tard, au XVII<sup>e</sup> siècle, que Nicolas Copernic organisa et fonda le modèle héliocentrique, ouvrant la voie à des scientifiques comme Kepler, Galilée et Newton pour consolider cette vision, aujourd'hui considérée comme un consensus scientifique.

Une erreur semblable se produit dans le débat énergétique, notamment au Brésil. De nombreux analystes – et même certains spécialistes – comparent les coûts de production de différentes

sources d'énergie sans tenir compte de critères adéquats. L'analyse simple du LCOE (coût actualisé de l'électricité) au niveau de la centrale ne reflète pas la complexité du système électrique, car chaque technologie possède des attributs spécifiques et entraîne des coûts supplémentaires, comme les solutions de secours et la stabilité du réseau. Depuis 2015, l'OCDE/NEA et l'AIE avertissent que ces comparaisons doivent inclure les coûts systémiques et les externalités, comme le prix du carbone. Pourtant, ceux qui soulignent cette nécessité sont souvent perçus comme des dissidents, niant l'importance d'un débat plus approfondi et rigoureux. Tout comme Galilée, face à l'Inquisition, réaffirma sa vision avec un “E pur si muove !”, les mathématiques et la théorie des ensembles nous enseignent qu'avant d'ajouter des chiffres, il est essentiel de comprendre les catégories impliquées – sinon, c'est comme additionner des pommes et des oranges. ■



# L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN MER : L'AVENIR DE LA DURABILITÉ ET DE LA SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE

## PROPULSION DES NAVIRES, PRODUCTION D'ÉNERGIE DANS LES PORTS OU APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE DES OPÉRATIONS OFFSHORE

La recherche de solutions énergétiques propres et durables a stimulé le développement de l'énergie nucléaire pour des applications maritimes. Qu'il s'agisse de la propulsion des navires, de la production d'énergie dans les ports ou de l'approvisionnement énergétique des opérations offshore, l'énergie nucléaire apparaît comme une alternative viable à la décarbonation du secteur maritime.

### L'ORIGINE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE MARITIME

« La génération nucléaire est née pour la mer », affirme Leonam Guimarães, directeur technique de l'ABDAN. La propulsion nucléaire a été pionnière dans les années 1950, les sous-marins nucléaires permettant des opérations autonomes et de longue durée sans nécessité de ravitaillement. Depuis lors, plusieurs pays, tels que les États-Unis, la Russie, la France et la Chine, ont élargi l'utilisation de l'énergie nucléaire à des applications non militaires, notamment des navires commerciaux et des centrales flottantes.

Renato Cotta, conseiller technique de la Direction générale du développement nucléaire et technologique de la Marine, souligne l'importance historique de cette technologie :

« La génération nucléaire offshore est utilisée dans des unités navales militaires depuis les années 1950, permettant des opérations de longue durée sans ravitaillement. »

### LE RÔLE DES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES (SMR)

Les Petits Réacteurs Modulaires (SMR) révolutionnent le secteur nucléaire, avec au moins 81 projets en cours de développement dans le monde, dont une dizaine spécifiquement conçus pour des applications maritimes.

« La Chine, le Danemark, la Russie, la Corée du Sud, le Canada et les États-Unis investissent massivement dans les SMR destinés à un usage naval, ce qui promet de transformer le transport maritime et les infrastructures portuaires », explique Guimarães.

Renato Cotta, également professeur titulaire à la POLI &

COPPE – UFRJ, ajoute : « Les centrales nucléaires offshore sont présentées comme des solutions plus sûres, moins coûteuses et plus faciles à mettre en œuvre. De plus, il existe des projets de génération nucléaire sous-marine, comme le FlexBlue français, qui peuvent répondre aux besoins en électricité des régions côtières et insulaires. »

Cotta souligne un potentiel spécifique pour le Brésil : « Petrobras étudie déjà l'utilisation de la génération nucléaire offshore pour l'exploitation du pré-sal, en raison de la forte teneur en CO<sub>2</sub> de ces champs et de la nécessité de réinjection du gaz. »

### AVANTAGES DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN MER

L'énergie nucléaire offre de nombreuses possibilités pour la transition énergétique du secteur maritime. Voici quelques-unes de ses principales applications :

- Propulsion nucléaire des navires : les navires à propulsion nucléaire peuvent fonctionner longtemps sans ravitaillement et réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre.
- Énergie pour les opérations portuaires : les SMR peuvent fournir une électricité fiable et propre aux ports et complexes industriels côtiers.
- Production de carburants à faible émission de carbone : l'énergie nucléaire peut être utilisée pour produire de l'hydrogène et de l'ammoniac, des alternatives prometteuses pour le secteur maritime.
- Énergie pour les plateformes offshore de pétrole et de gaz : les plateformes nécessitent une grande quantité d'énergie, que les SMR peuvent fournir de manière stable et durable.
- Réacteurs sous-marins : des projets comme le FLEXBLUE (France) proposent l'implantation de réacteurs nucléaires submergés pour alimenter les plateformes offshore, assurant efficacité et sécurité énergétique.

## DÉFIS ET RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE

Malgré son potentiel, l'adoption de l'énergie nucléaire en mer fait face à des défis. « La sécurité, la réglementation et l'acceptation par le public sont des obstacles à surmonter », avertit Guimarães.

Renato Cotta souligne que la sécurité réglementaire est essentielle à l'avancement de cette technologie :

« Le Secrétariat naval pour la sûreté nucléaire et la qualité de la Marine se prépare à la délivrance de licences pour des centrales nucléaires flottantes civiles, en partenariat avec la CNEN et l'AIEA. »

### PRINCIPAUX DÉFIS

- **Sécurité et protection de l'environnement** : l'exploitation de réacteurs en milieu marin exige des protocoles rigoureux pour éviter les fuites et incidents.
- **Réglementation internationale** : l'absence de cadre réglementaire global pour les réacteurs marins freine l'expansion de la technologie. Des organisations comme l'OMI (Organisation maritime internationale) et l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) travaillent à l'élaboration de normes.
- **Acceptation par le public** : la perception du risque lié au nucléaire suscite encore de la résistance dans certains milieux.
- **Investissements élevés** : le coût initial de mise en œuvre des SMR pour des applications maritimes reste un facteur nécessitant des incitations et des partenariats stratégiques.

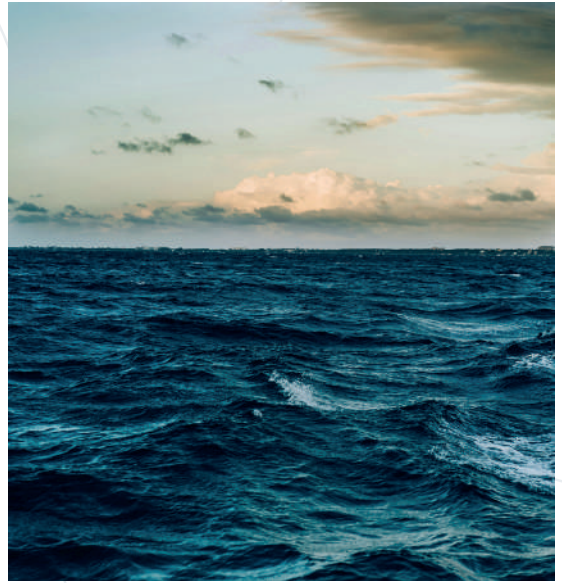
## PERSPECTIVES POUR LE BRÉSIL

Le Brésil bénéficie d'une position privilégiée pour le développement de l'énergie nucléaire en mer.

« Nous avons une expertise consolidée dans la construction du Réacteur Multipurpose Brésilien (RMB) et dans le programme de propulsion nucléaire de la Marine », souligne Guimarães. Cela place le pays dans une position stratégique pour avancer dans ce secteur.

Cotta confirme :

« L'expérience du Brésil dans le développement du LABGENE et du RMB nous donne une base solide pour progresser dans la mise en œuvre de SMR navals et offshore. »



### PRINCIPALES OPPORTUNITÉS POUR LE BRÉSIL

- Développement de navires commerciaux et militaires à propulsion nucléaire.
- Utilisation de réacteurs nucléaires pour fournir de l'électricité aux plateformes pétrolières et gazières.
- Installation de SMR pour alimenter les communautés côtières et riveraines.
- Partenariats entre la Marine, Petrobras, Amazul et la CNEN pour renforcer l'usage du nucléaire dans le secteur maritime.

L'énergie nucléaire en mer représente une avancée cruciale pour la durabilité et la sécurité énergétique mondiale. Avec le développement des Petits Réacteurs Modulaires (SMR) et la nécessité croissante de décarbonisation, cette technologie devient une alternative indispensable pour l'avenir du secteur maritime. « Le Brésil a une opportunité unique de consolider son leadership en matière de technologie nucléaire et de promouvoir un secteur maritime plus propre et plus efficace », conclut Guimarães.

Cotta renforce cette vision stratégique : « L'intégration de l'énergie nucléaire dans le secteur maritime brésilien peut représenter un avantage concurrentiel mondial, garantissant une indépendance énergétique et une durabilité accrues. »

La mise en œuvre de l'énergie nucléaire en mer n'est pas seulement une solution pour le présent, mais un investissement stratégique pour l'avenir de la transition énergétique mondiale. ■

# LA FINLANDE DÉCOUVRE UN GIGANTESQUE GISEMENT DE THORIUM AU POTENTIEL MONDIAL

**UN NOUVEAU GISEMENT OUVRE DES PERSPECTIVES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE ET RELANCE LES DÉBATS SUR L'AVENIR DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE**



Une récente découverte géologique en Finlande pourrait transformer le paysage énergétique mondial. Des chercheurs ont identifié un vaste gisement de thorium dans la région centrale du pays, estimé capable de fournir de l'énergie nucléaire pour des millions d'années.

Le thorium est un élément chimique radioactif qui se distingue comme une alternative prometteuse à l'uranium dans la production d'énergie nucléaire. Les réacteurs alimentés au thorium produisent moins de déchets radioactifs et ne génèrent pas de plutonium, ce qui réduit les risques de prolifération nucléaire. De plus, le thorium est plus abondant dans la nature, ce qui en fait une option attrayante pour diversifier le mix énergétique.

La localisation stratégique du gisement en Finlande – un pays disposant d'une infrastructure minière avancée – facilite l'exploration et le traitement du thorium. Cepen-

dant, des défis importants doivent encore être surmontés pour que le thorium devienne une réalité commerciale. La majorité des réacteurs nucléaires actuels sont conçus pour fonctionner à l'uranium, ce qui nécessiterait des investissements substantiels pour adapter l'infrastructure existante. De plus, les réglementations strictes concernant l'usage du thorium devraient être révisées.

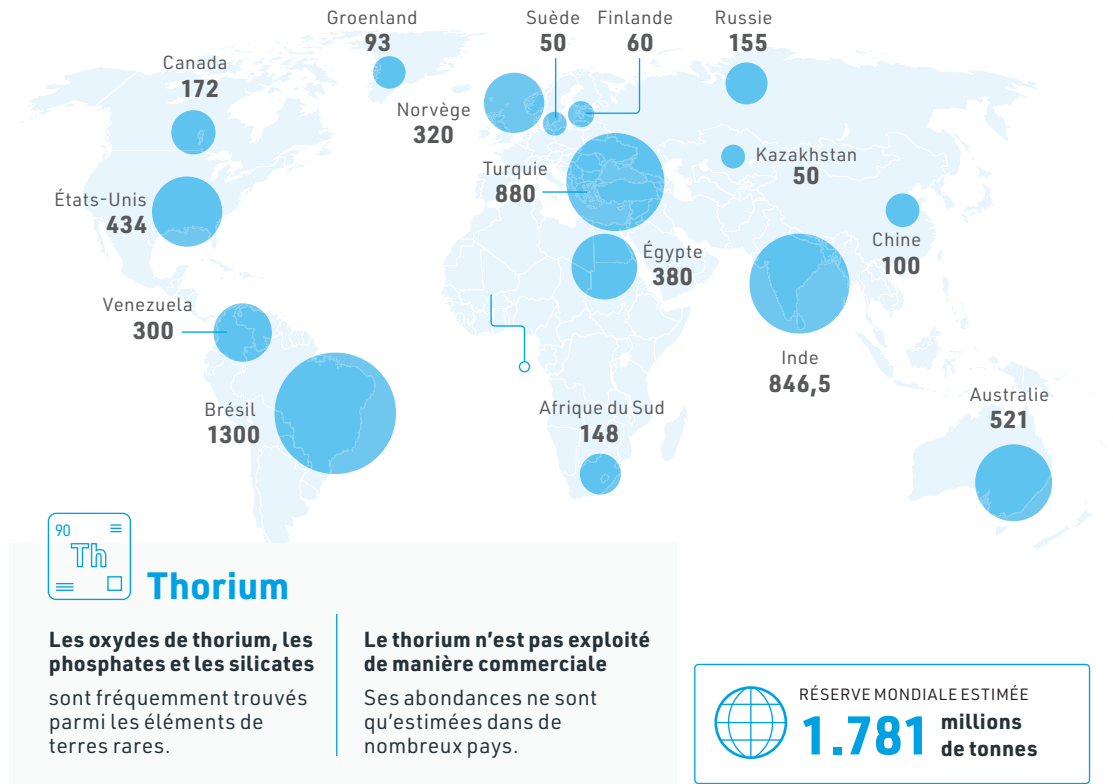
Cette découverte pourrait également contribuer à réduire la dépendance des pays occidentaux vis-à-vis de l'uranium, dont la production est concentrée dans quelques pays, renforçant ainsi la diversification du mix énergétique mondial.

La communauté internationale suit avec intérêt les développements autour de cette découverte, qui pourrait redéfinir le paysage énergétique dans les décennies à venir :

« La découverte récente d'un mégagisement de thorium

## RÉSERVES MONDIALES DE THORIUM

En milliers de tonnes



Source : Faisabilité de la conversion d'un REP avancé de  $UO_2$  vers un cœur mixte (U,Th) $O_2$

en Finlande met en lumière le potentiel encore inexploité de cet élément en tant qu'alternative viable à l'uranium dans la production d'énergie nucléaire. Le thorium présente des avantages significatifs, comme une production moindre de déchets radioactifs et une plus grande abondance naturelle. Cependant, pour tirer pleinement parti de cette ressource, un effort conjoint est nécessaire afin d'adapter notre infrastructure nucléaire et de réviser les réglementations actuelles », estime Celso Cunha, président de l'ABDAN.

### CONTEXTE MONDIAL

La carte des réserves mondiales de thorium révèle une large répartition de cet élément sur la planète, avec des pays comme le Brésil, la Turquie, l'Inde et l'Australie, qui possèdent certains des plus grands gisements connus. On estime que les réserves mondiales totalisent environ 1 781 millions de tonnes, bien que le thorium ne soit pas encore exploité commercialement, et que les quantités soient encore approximatives. La découverte du mégagisement en Finlande ajoute un nouveau point stratégique au paysage énergétique mondial, renforçant le potentiel du thorium comme alternative durable à l'uranium dans la production

d'énergie nucléaire.

### GISEMENTS AU BRÉSIL

Après quarante années sans études de prospection, les Industries Nucléaires du Brésil (INB) ont relancé en août 2024 la cartographie des gisements d'uranium dans le pays. Grâce au Programme de Partenariats pour la Prospection et l'Exploitation de l'Uranium, l'INB cherche à collaborer avec des entreprises du secteur minier pour identifier et exploiter de nouvelles réserves de ce minerai stratégique. Cette initiative vise non seulement à répondre à la demande interne des centrales nucléaires d'Angra 1 et 2, mais aussi à anticiper l'augmentation prévue avec l'achèvement d'Angra 3.

Le Brésil se distingue par ses importantes réserves d'uranium, se classant au sixième rang mondial, avec environ 309 000 tonnes d' $U_3O_8$ . Les principaux gisements d'uranium sont situés à Caetité, dans l'État de Bahia, et à Santa Quitéria, dans le Ceará.

L'exploitation de ces réserves d'uranium est essentielle au développement et à l'expansion du programme nucléaire brésilien, contribuant à la diversification du mix énergétique et à la sécurité énergétique du pays. ■



**nt2e**  
2025

Nuclear Trade &  
Technology Exchange

**Le plus grand événement  
d'affaires et de technologie  
du secteur nucléaire brésilien.**



*Conférences*



*Ateliers*



*Tables rondes*



*Mini-cours*

**DU 20 AU 22 MAI 2025**  
**Expomag / Rio de Janeiro**

**PARTICIPEZ !**

**ABDAN**

Inscrivez-vous sur : [nt2e.org](https://nt2e.org)

**nt2e**



# FORUM DES TECHNOLOGIES DU FUTUR : COMMENT ROSATOM FAÇONNE LES TENDANCES MONDIALES

Rosatom continue de repousser les limites de la technologie, en combinant l'énergie nucléaire à de nouveaux domaines pour générer de l'innovation. Lors du Forum des Technologies du Futur, la corporation a présenté des avancées de pointe allant de la fabrication de tissus biocompatibles à l'informatique quantique, en passant par le développement de nouveaux matériaux aux propriétés spécifiques.

## BIOFABRICATION : UNE NOUVELLE ÉTAPE EN MÉDECINE RÉGÉNÉRATIVE

L'un des temps forts de Rosatom au forum a été son biofabricateur, une technologie révolutionnaire permettant de cultiver des équivalents biocompatibles de vaisseaux sanguins. Contrairement à l'impression biologique traditionnelle, cette méthode utilise un champ acoustique ultrasonique pour générer des structures à partir de cellules vivantes. Des équivalents vasculaires de jusqu'à 10 cm ont déjà été développés et sont actuellement soumis à des tests pour évaluer leur compatibilité et leur intégration dans l'organisme d'animaux.

Il y a un mois, des scientifiques ont implanté un vaisseau sanguin cultivé par biofabrication dans un lapin. L'opération a été un succès, et l'animal reste en bonne santé. À l'avenir, cette innovation pourrait permettre non seulement la création de vaisseaux sanguins, mais aussi de tissus et organes plus complexes, élargissant les possibilités de la médecine.

Selon Alexey Likhachev, directeur général de Rosatom, cette recherche se situe à l'intersection de la physique, de la biologie et des technologies de l'information, soulignant son importance pour la qualité et l'espérance de vie. « Bientôt, les médecins pourront utiliser des cellules souches prélevées et préparées à l'avance pour restaurer des tissus et organes endommagés, étudier des maladies et tester de nouveaux médicaments », a-t-il déclaré.

En plus de répondre à la demande croissante en matériaux biocompatibles pour les patients souffrant de varices, de thrombose et de maladies coronariennes, la technologie

pourra également être appliquée à la régénération d'autres tissus et organes affectés.

## MATÉRIAUX DU FUTUR : INGÉNIERIE NUMÉRIQUE DES MATÉRIAUX

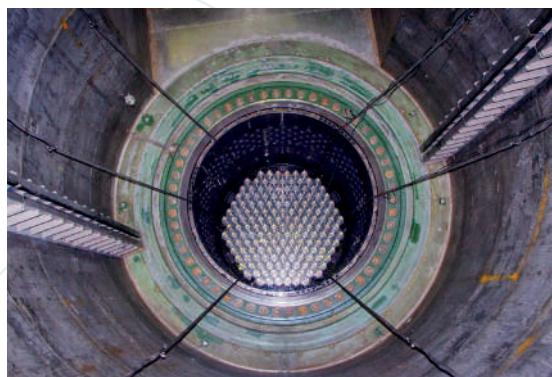
Outre les avancées en biotechnologie, Rosatom a présenté des solutions de pointe dans le domaine des nouveaux matériaux. La corporation a démontré un système automatisé de création de matériaux aux propriétés spécifiques, reposant sur l'intelligence artificielle et la modélisation numérique. Cette méthode permet de développer jusqu'à dix nouvelles compositions de matériaux par jour, réduisant considérablement le temps de recherche et de test.

« Ces matériaux peuvent être comparés à des athlètes de sports extrêmes. Ils résistent à des températures supérieures à 1 300 °C, à des charges mécaniques sévères et à une forte radiation. Nos matériaux sont le cœur des unités de propulsion nucléaire à haute température les plus récentes et exclusives », a déclaré Nadezhda Potechina, cheffe du laboratoire de science et propriétés des matériaux de l'Institut de Recherche Scientifique et de Production Luch.

L'un des développements majeurs est un nouvel alliage à haute résistance destiné aux réacteurs de quatrième génération VVER-SKD, conçus pour 80 ans d'exploitation. Un composite métal-céramique a également été introduit pour le revêtement des éléments combustibles du réacteur BREST-OD-300, garantissant une plus grande durabilité et sécurité dans l'utilisation du combustible nucléaire de nouvelle génération.

## TECHNOLOGIES QUANTIQUES : DE LA THÉORIE À L'APPLICATION INDUSTRIELLE

Un autre domaine fondamental de recherche concerne les technologies quantiques, essentielles pour l'avenir de la science des matériaux et de l'industrie. Lors du forum, Rosatom a organisé un débat sur l'application pratique de l'informatique quantique, soulignant l'importance de créer une plateforme intégrée pour son adoption dans l'industrie. Les scientifiques russes ont déjà atteint des avancées



significatives : le pays figure parmi les six à posséder des ordinateurs quantiques de plus de 50 qubits.

Selon Ekaterina Solntseva, directrice des technologies quantiques de Rosatom, le secteur nucléaire constitue un terrain idéal pour tester ces solutions. À l'avenir, l'informatique quantique pourrait être utilisée pour modéliser de nouveaux matériaux, développer des médicaments et résoudre des défis complexes d'ingénierie. Une plateforme intégrée est en cours de développement pour permettre aux partenaires industriels d'adopter ces technologies dans leurs processus.

De plus, Rosatom a annoncé l'inauguration d'un laboratoire quantique et prévoit d'organiser, en juillet de cette année, une conférence internationale pour accélérer le développement de l'industrie quantique. Ces initiatives permettront de favoriser l'adoption de ces technologies, qui pourraient devenir fondamentales pour les avancées scientifiques et technologiques dans les décennies à venir.

## **CYCLE FERMÉ DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE : L'AVENIR DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE**

Rosatom a également présenté les avancées du cycle fermé du combustible nucléaire. Dans le cadre du projet « Proryv » (Percée), ses scientifiques ont présenté des solutions innovantes pour créer des usines automatisées capables de retraiter le combustible usé sans intervention humaine, en s'appuyant sur les dernières avancées en robotique. Selon Alexander Zhrebtssov, chef du département du développement des technologies et matériaux du cycle du combustible nucléaire du projet Proryv, outre la sécurité, ce nouveau modèle compétitif couvrira toutes les étapes du cycle, influençant directement les solutions technologiques adoptées.

Basée sur des processus pyrométallurgiques automatisés, cette technologie de retraitement du combustible usé est sans précédent dans le monde. Un procédé de découpe laser du combustible est également à l'étude, ce qui rendrait le processus plus efficace et durable.

La fermeture du cycle du combustible nucléaire réduira considérablement le volume de déchets radioactifs et rendra l'énergie nucléaire encore plus durable. Il s'agit d'une étape importante, non seulement pour la Russie, mais pour tout le secteur nucléaire mondial.

## **TECHNOLOGIES DE STOCKAGE D'ÉNERGIE : L'AVENIR DES TRANSPORTS ÉLECTRIQUES**

Autre thème phare du forum : le développement des technologies de stockage d'énergie. Une cellule lithium-ion a été présentée, qui sera produite dans la gigafactory de Rosatom à Krasnaya Pakhra. La capacité de production de l'usine permettra de fabriquer jusqu'à 50 000 batteries par an, répondant à la demande des véhicules électriques non seulement à Moscou, mais dans toute la région centrale de la Russie.

Le développement de systèmes de stockage d'énergie est une priorité stratégique pour la corporation. Rosatom œuvre activement à la création de batteries modernes qui amélioreront l'efficacité et la durabilité des transports électriques, tout en contribuant à la stabilité du système énergétique dans le contexte de la transition vers les énergies renouvelables.

## **TENDANCES ET PERSPECTIVES**

Le Forum des Technologies du Futur a confirmé le statut de Rosatom comme leader mondial du nucléaire, tout en promouvant le développement de technologies innovantes dans les domaines de la biomédecine, des matériaux et de l'énergie. Les solutions présentées reflètent l'approche stratégique de la corporation pour créer des écosystèmes technologiques capables de transformer des secteurs industriels clés.

Pour l'Amérique latine, cette expérience est particulièrement précieuse, car les solutions intégrées de Rosatom peuvent être appliquées à la médecine, à l'énergie et à la fabrication avancée. La collaboration dans ces domaines ouvre de nouvelles opportunités pour un développement durable dans la région. ■



# Réacteurs nucléaires de petite taille

La clé de l'avenir durable  
des centres de données

Les centres de données exigent un approvisionnement en énergie

**STABLE et FIABLE**

Avec 48 kW, le centre de données de Kalininsky, en Russie, fonctionne entièrement intégré à la centrale nucléaire.



L'énergie nucléaire est la **SOLUTION IDÉALE** pour répondre aux besoins des centres de données



## SYSTÈME IDÉAL

2 réacteurs  
RITM-200M

Accès à une énergie stable, fiable et propre  
24 heures sur 24,  
7 jours sur 7,  
365 jours par an

Des prix de l'électricité prévisibles et économiquement viables, avec un facteur de capacité élevé



# ROSATOM



# Technologie nucléaire éprouvée pour une énergie propre et fiable

Éprouvé et prêt à soutenir le système énergétique de votre communauté, le réacteur modulaire de petite taille AP300<sup>SM</sup> de Westinghouse est la solution nucléaire la plus avancée disponible. Basé sur la technologie de notre réacteur AP1000®, déjà en service dans le monde entier, l'AP300 offre une construction modulaire à petite échelle, des calendriers de construction optimisés, des systèmes de sécurité ultramodernes et un mix énergétique plus propre.

Westinghouse met fièrement à profit plus de 70 ans d'expérience dans le développement et la mise en œuvre de nouvelles technologies nucléaires fournissant des sources d'énergie fiables, sûres et économiques.

**En savoir plus :** [www.westinghousenuclear.com/ap300](http://www.westinghousenuclear.com/ap300)



Westinghouse  
Electric Company



Westinghouse  
Electric Company



@WECNuclear



# NOUS SOMMES L'ABDAN

*Depuis 37 nous* promovons

**LE DÉVELOPPEMENT DU SECTEUR NUCLÉAIRE**

