



Observatoire
de la sécurité des flux
et des matières énergétiques

Rapport

L'APPROVISIONNEMENT EN URANIUM NATUREL : ENJEU DE LA RELANCE NUCLÉAIRE

Janvier 2025





Observatoire
de la sécurité des flux
et des matières énergétiques

L'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques est coordonné par l'IRIS, en consortium avec Enerdata et Cassini, dans le cadre d'un contrat avec la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées. Il consiste à analyser les stratégies énergétiques de trois acteurs déterminants : la Chine, les États-Unis et la Russie.

Le consortium vise également à proposer une vision géopolitique des enjeux énergétiques, en lien avec les enjeux de défense et de sécurité ; croiser les approches : géopolitique, économique et sectorielle ; s'appuyer sur la complémentarité des outils : analyse qualitative, données économiques et énergétiques, cartographie interactive ; réunir différents réseaux : académique, expertise, public, privé.

www.iris-france.org

© Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques - Tous droits réservés

Le ministère des Armées fait régulièrement appel à des études externalisées auprès d'instituts de recherche privés, selon une approche géographique ou sectorielle venant compléter son expertise externe. Ces relations contractuelles s'inscrivent dans le développement de la démarche prospective de défense, qui, comme le souligne le dernier Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale, « *soit pouvoir s'appuyer sur une réflexion stratégique indépendante, pluridisciplinaire, originale, intégrant la recherche universitaire comme des instituts spécialisés* ».

Une grande partie de ces études sont rendues publiques et mises à disposition sur le site du ministère des Armées. Dans le cas d'une étude publiée de manière parcellaire, la Direction générale des relations internationales et de la stratégie peut être contactée pour plus d'informations.

AVERTISSEMENT : Les propos énoncés dans les études et observatoires ne sauraient engager la responsabilité de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie ou de l'organisme pilote de l'étude, pas plus qu'ils ne reflètent une prise de position officielle du ministère des Armées.

À PROPOS DES AUTEURS DU RAPPORT



Teva Meyer / Chercheur associé, IRIS

Chercheur associé à l'IRIS et maître de conférences en géopolitique et géographie à l'Université de Haute-Alsace (Mulhouse) où il dirige la licence d'Histoire-géographie. Spécialiste de l'énergie nucléaire, ses recherches portent sur les conflictualités de l'approvisionnement en combustible et matières premières du secteur, sur les enjeux stratégiques du marché des réacteurs ainsi que sur la gestion du démantèlement et de la reconversion des sites nucléaires.



Frédéric Jeannin / Chercheur, IRIS

Chercheur au sein du Programme Climat, Énergie et Sécurité à l'IRIS. Il s'est spécialisé sur les enjeux géopolitiques autour des nouvelles technologies de la transition bas-carbone et les chaînes de valeurs des matières premières.

Avec la collaboration d'**Alexandre Roussel**, assistant de recherche à l'IRIS.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE ET COORDINATEUR



Emmanuel Hache / Directeur de recherche, IRIS

Directeur de recherche à l'IRIS et responsable scientifique de l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques. Il s'est spécialisé sur les questions relatives à la prospective énergétique et à l'économie des ressources naturelles.



Sami Ramdani / Chercheur, IRIS

Chercheur au sein du Programme Climat, Énergie et Sécurité à l'IRIS et coordinateur de l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques. Il s'est spécialisé sur la géopolitique de l'énergie et des matières premières.

CARTOGRAPHES



David Amsellem / Directeur, Cassini

Docteur en géopolitique et directeur du cabinet CASSINI. Il est spécialisé sur les questions d'aménagement, de transport public et de gestion des ressources énergétiques, en particulier au Proche et au Moyen-Orient.



Thomas Cattin / Doctorant en géopolitique et cartographe, Cassini

Doctorant en géopolitique et cartographe du cabinet CASSINI. Il est spécialisé sur les questions de frontière, de politique migratoire et de mobilisation xénophobe au Mexique et aux États-Unis.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
VERS DE NOUVEAUX PRODUCTEURS ET UNE DIVERSIFICATION DES FLUX D'APPROVISIONNEMENT	11
1. L'ouverture vers de nouveaux territoires d'exploitation.....	12
2. Brésil : un potentiel sous-exploité	15
3. Kirghizistan : le retour d'un producteur historique	16
4. Mongolie : la recherche d'un « troisième voisin »	17
5. Tanzanie : Une alternative à la Namibie en Afrique	18
6. De nouvelles routes pour désenclaver les producteurs d'Asie centrale	21
7. Que retenir ?	23
COMMENT LES PRODUCTEURS HISTORIQUES RÉAGISSENT-ILS FACE À CETTE NOUVELLE CONFIGURATION ?	25
1. Le Kazakhstan : une montée en puissance contrariée.....	27
2. Le retour de l'industrie uranifère canadienne ?	32
3. Des réserves importantes mais peu de production : le paradoxe australien devrait perdurer	33
4. Le Niger dans le contexte post-coup	34
5. Les ambitions grandissantes de l'Ouzbékistan	37
6. Namibie : entre mainmise chinoise et tensions sur l'accès à l'eau	38
7. Que retenir ?	41
ASSURER LES APPROVISIONNEMENTS EN URANIUM : FOCUS SUR L'EUROPE, LES ÉTATS-UNIS, LA CHINE, L'INDE ET LA RUSSIE	43
1. La reconstruction d'une filière uranifère aux États-Unis	45
2. Euratom et l'absence d'une stratégie européenne d'approvisionnement.....	48
3. Rééquilibrer les piliers de la stratégie chinoise des trois tiers	52
4. En Russie, sécuriser les approvisionnements pour continuer d'exporter	54
5. En Inde, les besoins grandissants de l'Atmanirbhar Bharat.....	56
6. Que retenir ?	58
CONCLUSION.....	59
ANNEXES.....	62
Annexe 1 : Stocks d'uranium estimés.....	63
Annexe 2 : Réouverture de mines d'uranium dans le sillage de la hausse des prix.....	63
Annexe 3 : Rappel des méthodes d'extraction de l'uranium et les enjeux environnementaux.....	64
Annexe 4 – Ventilation des coûts de fabrication du combustible nucléaire.....	66
Annexe 5 – Répartition des principales réserves prouvées d'uranium par pays et coût d'extraction.....	66
Annexe 6 – Répartition des principales réserves présumées et spéculatives d'uranium par pays et coût d'extraction	67
Annexe 7 – Les SWAPs, une pratique pour fluidifier les échanges et contourner les obligations.....	68
Annexe 8 – Les alternatives à l'extraction de l'uranium	68
Annexe 9 : Schéma explicatif des stratégies d'Underfeeding et d'Overfeeding.....	76



INTRODUCTION

En 2023, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) publiait sa dernière version du scénario Net Zero Emissions pour 2050 dans lequel les auteurs détaillent les mutations nécessaires du mix énergétique mondial pour limiter le réchauffement climatique à 1,5°C. Dans ses conclusions, l'AIE souligne la place essentielle qu'occupent les énergies renouvelables dans son scénario, mais aussi celle du nucléaire, dont les capacités mondiales doublent à horizon 2050, passant de 413 à 916 GW¹. Une estimation qui converge avec les projections de l'AIEA sur la même période, oscillant entre 514 et 950 GW². Des recommandations qui ont trouvé un écho dans l'appel de 24 pays en marge de la COP 28 de Dubaï à non pas doubler, mais tripler, la puissance installée d'ici 2050³. Des déclarations ambitieuses dont la mise en application demeure incertaine, notamment en ce qui concerne la fabrication du combustible et par extension **la disponibilité en uranium naturel**. Car si ces ambitions se concrétisent, la consommation annuelle d'uranium pourrait doubler d'ici à 2040, passant de 65 650 tonnes en 2023 à 130 000, voire 180 000 tonnes, selon les scénarios de la World Nuclear Association^{4; 5}.

L'uranium est pourtant un élément des réflexions stratégiques souvent négligé. En France notamment, les importations d'uranium ne sont pas considérées dans le taux d'indépendance énergétique du pays^{6; 7}, malgré une dépendance totale aux importations en provenance d'acteurs limités en nombre, qui ne sont ni neutres ni étrangers aux bouleversements géostratégiques en cours. Malgré tout, la progressive disjonction de l'industrie nucléaire russe du marché occidental, cumulé au coup d'État de juillet 2023 au Niger remet en avant la **dimension stratégique de l'uranium**^{8; 9}.

¹ AIE, *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach - 2023 Update*, (Paris : IEA Publications, 2023).

² AIEA, *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 - 2024 Edition*, (Vienne : AIEA Publications, 2024).

³ « At COP28, Countries Lauche Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity by 2050 », US Department of Energy, 1er décembre 2023. <https://urlr.me/HQhbPx>

⁴ « Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2023-2040 », WNA, 21 mai 2024. <https://urlr.me/kaPy6H>

⁵ Hippolite Boutin, « Vers un doublement des besoins en uranium d'ici 2040 », *SFEN*, 18 septembre 2023.

⁶ Ministère de la transition énergétique, Datalab, « Chiffre clés de l'énergie | Edition 2024 » <https://urlr.me/uzJyBn> (page consultée le 11 décembre 2024)

⁷ « Energies renouvelables : 3e source d'énergie primaire consommée en 2023 », République Française, Vie publique, 5 septembre 2024. <https://urlr.me/A2qHfx>

⁸ En 2022, le Niger représentait 14 % des importations européennes d'uranium naturel

⁹ Statista, « Imports of natural uranium to the european Union in 2022, by country of origin », <https://urlr.me/pE2BbN> (page consultée le 11 décembre 2023)

En effet, depuis 2021, les cours de l'uranium naturel (U_3O_8) connaissent une forte hausse. De 24 \$ la livre en février 2020, ils avoisinent désormais 76 \$ en décembre 2024, après avoir connu un pic à près de 106 \$ en janvier 2024. Une inflation en partie imputable à la hausse attendue des besoins, face à une offre concentrée et limitée^{10; 11}, alors que les stocks estimés sont à des niveaux historiquement bas.

Les stocks stratégiques d'uranium

Depuis la fin des années 1980, l'industrie nucléaire s'est reposée pour partie sur des stocks d'uranium hérités des surcapacités de production de la guerre froide. Des réserves principalement composées d'uranium appauvri, de résidus d'enrichissement, de combustible recyclé et de HEU¹² militaire dilué¹³.

Aujourd'hui, les estimations tablent sur des niveaux historiquement bas d'uranium secondaire, principalement sous la forme d' U_3O_8 . Et considérant que trois années sont nécessaires pour transformer l'uranium naturel en combustible, la globalité des stocks ne permettrait pas de répondre à une rupture nette d'approvisionnement¹⁴. Une situation qui s'explique par une surestimation des volumes, doublé d'un manque d'anticipation des opérateurs de centrale nucléaire face à la relance de l'industrie¹⁵.

En Europe par exemple, les inventaires réduits –aussi bien en combustible qu'en U_3O_8 – conduiraient inévitablement à une limitation des capacités électronucléaires à court terme (voir annexe 1). Même en Chine, où les réserves estimées sont les plus importantes au monde¹⁶, une rupture des livraisons, principalement en combustible, précéderait à court terme la production d'électricité nucléaire (voir annexe 1). Un constat qui pousse les industriels notamment en Chine, à consolider leurs stocks

¹⁰ Pour compenser le manque de capacité d'enrichissement, les opérateurs peuvent avoir recours à des stratégies d'« overfeeding », compensant le manque d'unité de centrifugation par des quantités d'uranium plus importantes en entrée du processus d'enrichissement (voir stratégie d'Overfeeding - annexe 9).

¹¹ Teva Meyer, *L'approvisionnement en enrichissement de l'uranium : dynamiques et enjeux après l'invasion russe de l'Ukraine*, (Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, Paris : 2023).

¹² High Enriched Uranium, de l'uranium enrichi à plus de 20%

¹³ IAEA, *Global Inventories of Secondary Uranium Supplies. IAEA Tecdoc Series* (Vienna: IAEA, 2023).

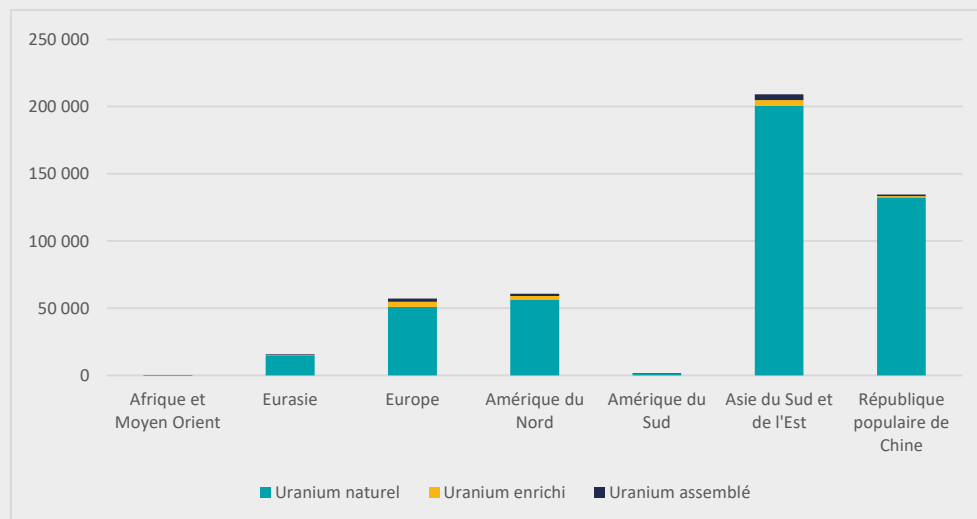
¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ Mike Alkin, « Uranium Fundamentals Couldn't Be Better », MACROVoices, 05 septembre 2024.

¹⁶ Selon l'IAEA, la Chine disposait en 2022 de 132 500 tonnes d' U_3O_8 , 906 tonnes d'EUP et 1215 tonnes de combustible assemblé.

stratégiques, tout du long de la chaîne de transformation, ce qui conduira inévitablement à plus de pression sur l'offre d'uranium primaire¹⁷.

Figure 1 : estimation des stocks stratégiques d'uranium (2022)



Source : IAEA, « Global Inventories of Secondary Uranium Supplies », IAEA Tecdoc Series 2030 (2023)

Par ailleurs, cette volatilité est aussi liée à des modifications dans la structure du marché¹⁸. Jusqu'à présent les opérateurs de centrales nucléaires représentaient l'essentiel des achats d'uranium, mais la volatilité actuelle attire de plus en plus d'**intermédiaires financiers qui jouent sur la fluctuation des cours** à des fins spéculatives¹⁹. Parmi ces acteurs, les Exchange Traded Fund (ETF), qui multiplient depuis 2021 les acquisitions et la rétention d'uranium physique pour pousser les prix à la hausse et accroître l'attractivité de leurs portefeuilles d'actions centrés sur l'industrie minière uranifère. **En 2024, 113 millions de livres d'uranium physique seraient détenues par des institutions financières, soit 65 % de la consommation du parc nucléaire mondial sur une année**²⁰. Parmi ces acteurs, Sprott Physical Uranium Trust aurait cumulé à lui seul 63 millions de livres d'uranium depuis sa création en juillet 2021, entraînant une hausse corrélée et notable des cours de l'uranium²¹; ²². Une stratégie de

¹⁷ IAEA, *Global Inventories of Secondary Uranium Supplies*. IAEA Tecdoc Series (Vienna: IAEA, 2023).

¹⁸ Mike Alkin, « Uranium Fundamentals Couldn't Be Better », *MacroVoices*, 5 septembre 2024.

¹⁹ J. Holzman, « Sprott fund transforms uranium spot market », *S&P Global*, 19 octobre 2021.

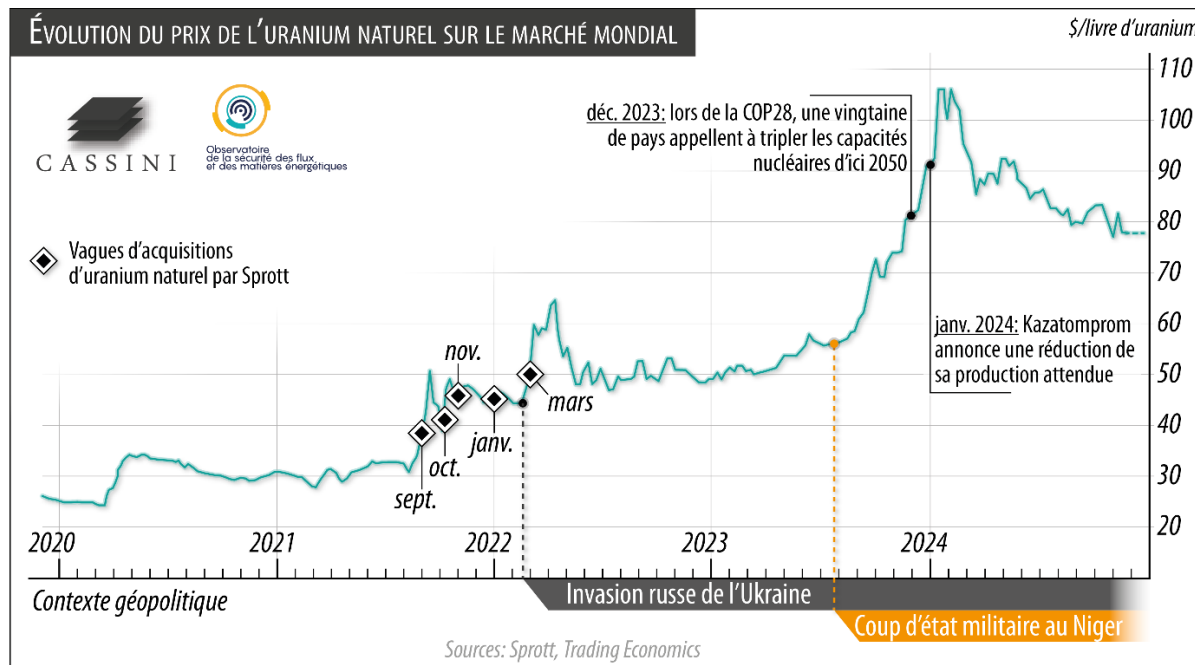
²⁰ Eric Onstad, « FACTBOX How investors boost exposure to physical uranium », *Reuters*, 20 février 2024.

²¹ Entre le 4 et le 13 octobre 2021, Sprott a fait l'acquisition de 1,55 millions de livres d'U3O8, entraînant une hausse de 22% du cours de l'uranium, passant de 37,5 \$ à 46 \$ la livre.

²² Emily Graffeo, « How a less-than six-month-old fund shook the nuclear fuel market », *Bloomberg*, 12 décembre 2021.

rétenion de matière qui soulève **le risque d'un appauvrissement des volumes disponibles**, et avec elle d'une hausse continue des prix de l'uranium et de l'électricité d'origine nucléaire²³.

Figure 2 : Évolution du prix de l'uranium sur le marché mondial



Même si la **contribution du combustible au coût actualisé de l'électricité nucléaire n'excède pas 20 %**, contre typiquement 70 % à 90 % pour le charbon et le gaz, **elle n'est pas négligeable pour autant**²⁴, ce contexte exacerbe la nécessité de se doter de nouvelles sources d'uranium primaire en quantité suffisante pour répondre à la demande future à un prix acceptable (voir annexe 4)²⁵. Ce faisant, l'attention se porte sur le secteur minier qui pourrait profiter de la hausse des cours pour ouvrir de nouvelles exploitations. Cependant, ces projets à échéance décennale et nécessitant d'importants investissements n'en demeurent pas moins vulnérables à toutes fluctuations économiques, réglementaires, sécuritaires, logistiques et géopolitiques.

La question est donc de savoir comment se redessinent les flux d'approvisionnement en uranium naturel, à la suite de la hausse des cours et l'expansion annoncée du parc nucléaire mondial, dans un contexte géopolitique instable.

²³ Mike Alkin, « Uranium Fundamentals Couldn't Be Better », *MacroVoices*, 05 septembre 2024.

²⁴ Jonathan Mattise, « As US ramps up nuclear power, fuel supplier plans to enrich more uranium domestically », *AP News*, 20 novembre 2024.

²⁵ J. Holzman, « Investment fund Sprott turns uranium prices red hot, fund managers say », *S&P Global*, 20 septembre 2021.



- Allons-nous vers une reconfiguration spatiale du marché de l'uranium ?
- Comment les producteurs historiques s'adaptent-ils à la compétition croissante sur l'accès aux réserves d'uranium ?
- Comment les pays producteurs révisent-ils leur stratégie d'approvisionnement ?



**VERS DE NOUVEAUX
PRODUCTEURS ET UNE
DIVERSIFICATION DES FLUX
D'APPROVISIONNEMENT**

1. L'ouverture vers de nouveaux territoires d'exploitation

Portée par l'état du marché, **la production mondiale de l'uranium naturel (U_3O_8) connaît déjà un rebond significatif**. Entre 2022 et 2023, le Canada a augmenté sa production de 69 %²⁶, le Kazakhstan de 6 % sur les six premiers mois de 2024²⁷, tandis que les États-Unis²⁸, la Chine, la Namibie²⁹, l'Australie³⁰, le Malawi³¹ et le Botswana³² réouvrent des mines mises en sommeil par manque de rentabilité (voir annexe 2). Cependant, les gisements identifiés les plus performants, recouvrables à moins de 40\$ par kilo, ont enregistré un recul notable de 28,2% entre 2019 et 2022 (voir annexe 5)³³. Un déclin découlant de coûts d'extraction plus élevés et d'une réévaluation à la baisse de la qualité de certains gisements au Canada, au Kazakhstan et en Ouzbékistan³⁴.

S'il **n'y a pas de risque perceptible de pénurie d'uranium** – les réserves techniquement exploitables identifiées étant suffisantes pour couvrir les besoins d'ici la fin du siècle³⁵ – en revanche, **leur disponibilité à un coût économiquement acceptable n'est pas encore garantie**. Ce qui, en cas de triplement des capacités nucléaires – tel qu'annoncé lors de la COP28 de 2023 – implique nécessairement d'orienter les investissements vers des territoires jusqu'ici négligés par manque de rentabilité ou de volonté nationale^{36; 37}.

Les typologies de ressources conventionnelles et non conventionnelles

Il existe trois typologies de **ressources dites conventionnelles**, ou l'uranium peut être récupéré en quantité, comme produit primaire ou en coproduit :

²⁶ « Cameco looks to increase production as net earnings double », World Nuclear News, 8 février 2024.

²⁷ Vusala Abbasova, « Kazakhstan Boosts Uranium Production in First Half of 2024 », *Caspian News*, 2 août 2024.

²⁸ « US updates import tariffs as domestic uranium production grows », World Nuclear News, 25 septembre 2024.

²⁹ « Uranium production process restarts at Langer Heinrich », World Nuclear News, 25 janvier 2024.

³⁰ « First drum of uranium from restarted Australian project », World Nuclear News, 23 avril 2024.

³¹ « Lotus eyes 2025 for Kayelekera restart », World Nuclear News, 16 janvier 2024.

³² Emiliano Tossou, « Le Botswana s'active pour profiter de la hausse des prix de l'uranium », *Agence Ecofin*, 20 septembre 2024. <https://urls.fr/eD9KW7>

³³ Passant de 1 080 500 tonnes en 2019 à 775 900 tonnes en 2021.

³⁴ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

³⁵ Les ressources identifiées d'uranium étaient estimées en 2022 à 8 millions de tonnes.

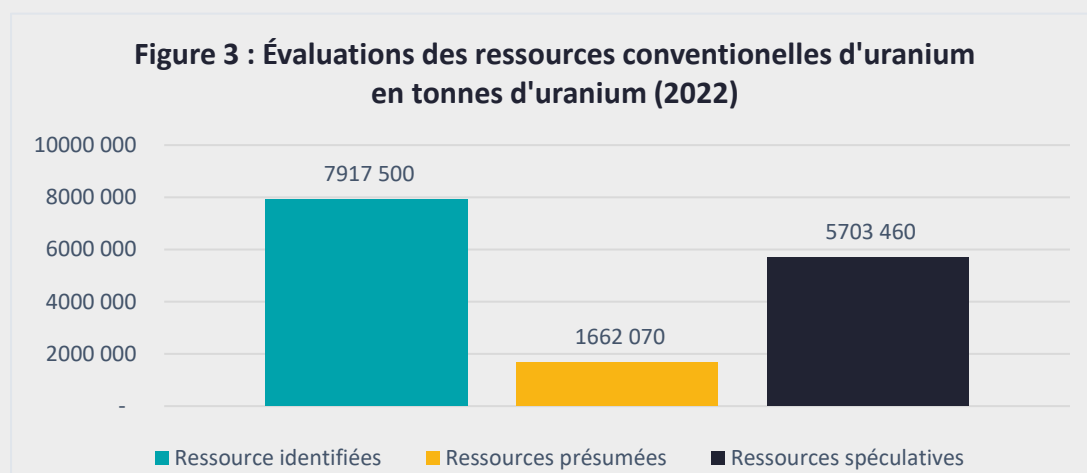
³⁶ Franc Montaugé et Vincent Delahaye, *Éclairer l'avenir : l'électricité aux horizons 2035 et 2050*, Sénat, (Paris : 2024) ;

³⁷ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

Les ressources identifiées : les gisements formellement localisés, dont la qualité et la quantité, sont établis par des mesures directes. Ces ressources relèvent d'un degré de certitude élevée.

Les ressources présumées : Les filons non découverts, mais dont l'existence peut raisonnablement être déduite au regard du contexte géologique connu. Les certitudes quant à la quantité et la quantité sont néanmoins moins élevées que pour les ressources identifiées.

Les ressources spéculatives : Les gisements dont on soupçonne l'existence, mais avec un fort degré d'incertitude.



Source : NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

Les ressources non conventionnelles, quant à elles, intègrent l'ensemble des dépôts où l'uranium n'est récupérable que sous la forme de **sous-produits, dans des quantités inférieures** aux sources conventionnelles.

La principale source non conventionnelle d'uranium vient de **la transformation du phosphate en d'acide phosphorique pour la fabrication d'engrais**. Une technique maîtrisée, mais qui nécessite d'importantes quantités de phosphate, pour une quantité d'uranium limitée et une forte déperdition de matière, avec de possibles conflits d'usage, notamment avec l'industrie agricole. D'autres options existent à partir d'eau de mer, de schiste noir, de carbonate, de charbon, de granite ou à partir de gisements de terres rares^{38; 39}.

³⁸ Jan Willem Storm van Leeuwen, « Unconventional uranium resources », Nuclear Consulting Group, septembre 2019.

³⁹ Andrea Hotter, « Don't forget phosphate when securing critical raw materials for electrification », Hotter Commodities, Fast Market, 10 Mars 2023.

Les estimations disponibles, bien qu'incertaines, évaluent la quantité d'uranium non conventionnelle disponible **entre 57 et 62 millions de tonnes**. Mais **aucune de ces options n'offre suffisamment de garanties** en termes de ressources disponibles, de rentabilité ou de faisabilité technique pour envisager la mobilisation d'investissements suffisants pour le lancement d'une filière à large échelle⁴⁰.

L'année 2021 a justement été marquée par **une multiplication des projets d'explorations**, essentiellement dans les États déjà producteurs d'uranium, mais aussi dans des pays qui jusqu'ici étaient restés en marge du marché⁴¹. Si **le manque de transparence rend difficile l'évaluation de ces campagnes**, certains pays se démarquent par l'émission de licences d'exploration, l'actualisation de leur réglementation minière, des appels à financement ou des campagnes de recherche déjà actives. Parmi eux l'Égypte⁴², la République Centre Africaine⁴³, la Mauritanie⁴⁴, la Tanzanie⁴⁵, la Zambie⁴⁶, le Zimbabwe⁴⁷, l'Arabie Saoudite⁴⁸, la Mongolie⁴⁹, le Kirghizistan⁵⁰, l'Argentine⁵¹ et le Pérou⁵². Des explorations menées pour partie par des acteurs étrangers, notamment français (Orano), australien (Lotus et Aura energy), canadien (GoviEx), russe (Uranium One) et chinois (CNUC), avec dans certains cas un quasi-monopole, notamment russe en Tanzanie⁵³ et chinois en Arabie saoudite⁵⁴. Parmi les pays les plus prometteurs, **le Brésil dispose d'importantes réserves** identifiées de haute qualité et encore

⁴⁰ Jan Willem Storm van Leeuwen, « Unconventional uranium resources », Nuclear Consulting Group, septembre 2019.

⁴¹ Ibid.

⁴² Hegab, M.A.ER. « A multi-disciplinary approach for uranium exploration using remote sensing and airborne gamma-ray spectrometry data in the Gebel Duwi area, Central Eastern Desert, Egypt », Scientific Report N°14, article 19739 (2024).

⁴³ « Central African Republic seeks Indian investors to mine gold, uranium », Business Standard, 28 novembre 2024.

⁴⁴ Emiliano Tossou, « Uranium : l'australien Aura autorisé à construire la première mine de Mauritanie », *Agence Ecofin*, 15 juillet 2024.

⁴⁵ Emiliano Tossou, « Uranium : premiers travaux d'exploration pour l'australien Moab en Tanzanie », *Agence Ecofin*, 09 juillet 2024.

⁴⁶ GoviEx Uranium, « Muntanga – Zambia », goviex.com/projects/muntanga/ (page consultée le 28 novembre 2024)

⁴⁷ « Zim to tap into uranium deposits », Mining Zimbabwe, 3 octobre 2022. <https://urlr.me/s9YcE7>

⁴⁸ Aziz El Yaakoubi, « Saudi Arabia plans to use domestic uranium for nuclear fuel », *Reuters*, 11 janvier 2023.

⁴⁹ « Exploration : Mongolia's most overlooked sector », Mining Insight Magazine, 18 septembre 2023.

⁵⁰ Rafael R, « Laramie Resources Secures Uranium Exploration Rights in Kazakhstan », *Crux Investor*, 6 septembre 2024.

⁵¹ « The State of Long-term Contracts in the Uranium Market », Investing News Network, 12 novembre 2014.

⁵² « American Lithium – A Promising Uranium Developer in Peru », *Crux investor*, 7 septembre 2023

⁵³ « Consolidated Uranium to Acquire the Past Producing Huemul Uranium-Vanadium-Copper Project in Argentina », Investing News Network, 14 juin 2023.

⁵⁴ William Iberque et Amnah Ibraheem, « Saudi Arabia's partner in pursuing civilian nuclear power: China or the US? », *IJSS*, 17 novembre 2023. <https://urlr.fr/YQ3p9v>

peu exploitées, avec un potentiel présumé de 300 000 tonnes⁵⁵. **La Mongolie aurait également des réserves significatives, possiblement les plus importantes du monde, excédant 1,3 million de tonnes (voir annexe 6)⁵⁶**. Dans une moindre mesure la Tanzanie⁵⁷ et le Kirghizistan⁵⁸, jusqu'ici délaissé par manque de rentabilité pourrait aussi devenir des pays exportateurs.

Mais ces projections sont encore spéculatives et doivent être prises avec précaution. Elles sont non seulement basées sur des données incomplètes et des méthodes faillibles⁵⁹, mais peuvent aussi servir un narratif décorrélé de la réalité géologique pour attirer des investisseurs⁶⁰. Une incertitude qui peut mettre plusieurs années à plusieurs décennies avant d'être levée.

2. Brésil : un potentiel sous-exploité

À partir des années 1940, la découverte d'importants gisements d'uranium a motivé l'élaboration de politiques nucléaires ambitieuses, à des finalités à la fois civiles, scientifiques et militaires. Mais l'instabilité politique et financière du pays, associée à des résultats miniers peu probants, ont conduit le Brésil à réviser ses ambitions à la baisse⁶¹. **En 2024, une seule mine d'uranium était encore en exploitation à Caetité, sous le monopole de la compagnie d'État « Indústrias Nucleares do Brasil » (INB)**. Avec une production annuelle de seulement 340 tonnes d'uranium naturel⁶², cette mine ne permet pas de subvenir aux besoins de la seule centrale nucléaire du pays.

Mais depuis 2022 et la hausse des cours, le pays est engagé dans **un vaste programme de prospection et d'exploitation d'uranium, le « Prouranio »⁶³**. Une stratégie priorisant les partenariats public-privé pour valoriser à brève échéance les réserves sous-exploitées du

⁵⁵ « Brazil to resume uranium exploration », World Nuclear News, 22 août 2024. <https://urls.fr/KEVOVo>

⁵⁶ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

⁵⁷ « How Tanzania is developing nuclear energy », The Citizen, 25 novembre 2024. <https://urls.fr/VAVpUX>

⁵⁸ World Bank, *Mining Sector Diagnostic – Kyrgyz Republic*, March 2023.

⁵⁹ MAJR Resources, « How reliable are the results of a geophysical survey? », https://urls.fr/n_LNxa (page consultée le 20 novembre 2024)

⁶⁰ Corine Wood-Donnelly et Marianne Pascale Bartels, « Science diplomacy in the Arctic: Contributions of the USGS to policy discourse and impact on governance », *Polar Record* 58 (2022)

⁶¹ R. M. J. Bermudez, V. Sangregorio-Soto et I. Lima, « Brazil's Uranium Mining Evolution: Domestic Developments and International Dynamics », *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 31 octobre 2024.

⁶² « Le Brésil relance l'exploration d'uranium face à la demande mondiale croissante », Energy News, 26 août 2024.

⁶³ Mariana Durao, Bloomberg News, « Brazil seeks to woo partners in revived ambition to uncover uranium riches », <https://urlr.me/SY3x4K>, 22 octobre 2024

Brésil, estimées à 309 000 tonnes prouvées, dont 210 000 raisonnablement assurées, et très certainement sous-évaluées, étant donné que **75% du territoire brésilien n'a pas encore été exploré**⁶⁴. Parmi les initiatives phares du pays, l'extension du site de Caetité, ainsi que le projet Santa Quitéria, un partenariat entre INB et le fabricant d'engrais Galvani pour l'extraction de 2 300 tonnes d'uranium par an à partir de réserves de phosphate dans le nord-est du pays⁶⁵. Des projets nationaux, mais ouverts à des investissements étrangers, **INB ayant déclaré être en discussion avec la Russie, l'Inde, la Corée du Sud, la France, l'Australie, le États-Unis et la Chine** pour l'exploration du nord-est, du Midwest et du sud du Brésil.

3. Kirghizistan : le retour d'un producteur historique

De 1936, jusqu'à son indépendance en 1991, cette ancienne république soviétique a fait partie des principaux contributeurs à la production soviétique d'uranium, aux côtés du Kazakhstan et de l'Ouzbékistan⁶⁶. **L'intégralité des extractions a cessé en 1997** par manque de rentabilité, mais le pays subit encore les conséquences de la mauvaise gestion de plusieurs centaines de milliers de tonnes de résidus radioactifs⁶⁷.

L'hostilité de la population à tout nouveau projet d'extraction a conduit le gouvernement à interdire en 2019 les activités d'exploration et de production d'uranium, à l'exception de la récupération des résidus responsables de la contamination des populations⁶⁸. Mais face aux conséquences de la crise sanitaire et de l'impact indirect des sanctions économiques contre la Russie sur le pays, Bichkek a finalement levé son moratoire pour **redynamiser l'activité minière du pays, qui en 2020 représentait 12,6 % du PIB national**⁶⁹.

La même année, l'entreprise publique Kyrgyzaltyn a reçu le permis d'exploration et de développement du **site de Kyzyl-Ompol**, dont la concentration en uranium est estimée à 0,17 %⁷⁰. D'autres sociétés positionnées au Kirghizistan pourraient intervenir dans la

⁶⁴ Fabiano Deffenti, « Uranium Mining by Private Miners Allowed in Brazil », *Laws of Brazil*, 2 août 2024.

⁶⁵ « Brésil : réception de l'étude d'impact environnemental pour le projet Santa Quitéria », Nuklear Forum, 30 mars 2022.

⁶⁶ World Nuclear Association, « Country Profiles|Uranium in Kyrgyzstan », <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kyrgyzstan> (page consultée le 15/11/2024)

⁶⁷ European Commission, International Partnerships, « Cleaning up Central Asia's poisonous uranium past », <https://urlr.me/SxbrU6> (page consultée le 02 décembre 2024)

⁶⁸ World Nuclear Association, « Country Profiles|Uranium in Kyrgyzstan », <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kyrgyzstan> (page consultée le 15/11/2024)

⁶⁹ World Bank, *Mining Sector Diagnostic – Kyrgyz Republic*, March 2023.

⁷⁰ « Kyrgystan grants uranium mining license to Kyrgyzaltyn for Tash-Bulak block », Mining SEE, 2 août 2024.

valorisation de ses réserves d'uranium. Parmi elles, UrAsia, propriété de Central Asian Uranium Company, partagée entre des capitaux russes (Priargunskiy Mining and Chemical Enterprise – 21 %), mongoles (MonAtom LLC – 21 %) et canadiens (Khan Resources – 58 %)⁷¹, qui avait déjà obtenu une licence d'exploration pour Kyzyl-Ompol en 2019, avant l'annonce du moratoire. D'autres sites comme Jetyn ou Kara Balta disposeraient d'un potentiel combiné de plus de 50 000 tonnes d'uranium, mais avec une faisabilité économique encore incertaine.

4. Mongolie : la recherche d'un « troisième voisin »

Depuis les années 1950, plusieurs vagues d'explorations ont consolidé l'idée que la Mongolie détiendrait les plus importantes ressources d'uranium au monde, estimé en 2022 à 1,3 million de tonnes⁷². Pour autant, sa production totale cumulée n'a pas dépassé les 535 tonnes depuis ses débuts en 1989. **Une sous-exploitation qui s'explique par la posture protectionniste et volatile d'Oulan-Bator sur la gestion de ses ressources naturelles**, notamment l'uranium. Cette posture s'explique à la fois par la volonté du gouvernement de modérer les attentes nationalistes d'une majorité de l'opinion, mais aussi de répondre aux préoccupations environnementales de la population, tout en **tempérant les intérêts économiques régionaux de ses voisins russe et chinois**⁷³.

En 2009, la mise en application de la **loi sur l'énergie nucléaire** a imposé une participation entre 34 et 51 % de l'Etat mongole sur tout projet impliquant de l'uranium, avec la possibilité de suspendre ou révoquer arbitrairement les licences d'exploration et d'exploitation. Une disposition visant à protéger la souveraineté mongole, qui s'est traduite dès 2010 par une remise en cause des projets en cours, un déclin des licences en activité et une division par trois des investissements privés entre 2012 et 2022⁷⁴. **Les projets de Dornod et de Gurvanbulag notamment, respectivement opérés par ARMZ, filiale de Rosatom, et CNNC, sont reportés à des dates indéterminées**, le temps de redéfinir les modalités de la coopération et d'évaluer leur cohérence avec la législation mongole⁷⁵.

⁷¹ Wise Uranium Project, « Uranium Mine Ownership », <https://urls.fr/BM3edR> (page consultée le 03 décembre 2024)

⁷² NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

⁷³ Munkhnaran Bayarlkhagva, « A nuclear deal to tip the scale? », *International Politics and Society*, 1 septembre 2024.

⁷⁴ « Exploration : Mongolia's most overlooked sector », Mining Insight Magazine, 18 septembre 2023. <https://urls.fr/93sst8>

⁷⁵ WNA, « Uranium in Mongolia », <https://urlr.me/SaP3By> (page consultée le 11 décembre 2024)

Malgré ce contexte instable, **le projet de Zuuvch-Ovoo, conclu en 2023 entre le français Orano et l'entreprise d'Etat MonAtom, devrait rentrer en opération d'ici 2030**, avec une production attendue de 2 750 tonnes d'uranium par an, soit environ 4 % de la production mondiale actuelle, sur une durée de 30 ans⁷⁶. Une opportunité pour la France qui s'appuie sur **la stratégie mongole du « troisième voisin »**, destinée à désenclaver le pays de l'influence de ses voisins russe et chinois en diversifiant ses partenariats avec des pays tiers.⁷⁷

Cependant cette politique reste tributaire du paysage politique local, partagé entre les volontés d'intégration régionale du « parti démocrate » actuellement au pouvoir et la recherche d'indépendance soutenue par l'opposition du « XYH »⁷⁸. D'autre part, les **interconnexions énergétiques et commerciales critiques de la Mongolie avec ses voisins rend passablement précaire le maintien de cette politique d'ouverture** étant donné la montée en intensité de la confrontation entre la Chine, la Russie et les pays occidentaux.

5. Tanzanie : Une alternative à la Namibie en Afrique

Le potentiel uranifère de la Tanzanie est connu depuis les années 1970, mais les faibles prix de l'uranium cumulés à l'absence d'infrastructures et d'encadrement légal avaient jusqu'ici repoussé la mise en exploitation de ces gisements⁷⁹. Mais depuis le début des années 2000, **la vulnérabilité du système énergétique local, associée à des besoins croissants en énergie, ont poussé les autorités de Dodoma à envisager la nucléarisation du pays et l'exploitation de ses ressources en uranium**⁸⁰.

En 2003, la Tanzanie s'est dotée d'une loi et d'une commission sur l'énergie atomique (la Commission tanzanienne de l'énergie atomique – TAEC) chargée de poser le cadre et les orientations stratégiques pour la valorisation de ses réserves d'uranium⁸¹. La TAEC a également multiplié les partenariats avec les acteurs locaux, l'AIEA, la Commission européenne, ainsi que les commissions de régulation des États-Unis et du Canada afin de développer ses

⁷⁶ « Franco-Mongolian protocol lays foundations for uranium project », World Nuclear News, 13 octobre 2023.

⁷⁷ Ibid.

⁷⁸ Antoine Maire, « Quelle place pour les « troisièmes voisins » dans la stratégie internationale de la Mongolie ? », Note n°25/23, FRS (2023).

⁷⁹ Madenge, « Uranium in Tanzania: Statuts, Challenges & Opportunities », The United Republic of Tanzania, 9 décembre 2021.

⁸⁰ « How Tanzania is developing nuclear energy », The Citizen, 25 novembre 2024. <https://urls.fr/VAVpUX>

⁸¹ Aabha Dixit, « Five years on, Tanzania's progress in uranium exploration », AIEA Bulletin, Juin 2018.

compétences et ses infrastructures dans les domaines nucléaire et minier. Aujourd’hui, la Tanzanie est désormais reconnue comme un pays suffisamment stable, qualifié et ouvert aux investissements pour ouvrir de nouvelles mines d’uranium⁸².

Cependant, sur les quatre dépôts d’uranium identifiés, **80 % des ressources identifiées sont localisées dans le site d’Nyota – Mkuju River (58 489 tonnes), opéré par Mantra ressources, propriété depuis 2011 d’Uranium One, la branche internationale de Tenex, filiale de Rosatom**⁸³. D’autre part, Dodoma et Moscou ont tissé d’importants liens diplomatiques et économiques, notamment dans le domaine nucléaire, de la mine aux infrastructures en passant par la formation. Si les modalités de cette coopération restent à définir, elles peuvent être le signe avant-coureur d’un accès privilégié de Rosatom aux réserves d’uranium tanzaniennes⁸⁴.

⁸² « Tanzania: Hidden Gem for Uranium Miners », Investing News Network, 27 mai 2024.

⁸³ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

⁸⁴ Henry Mwangonde, « Every indication that Tanzania remains Russia’s strategic partner », Embassy of the Russian Federation in the United Republic of Tanzania, 1^{er} mars 2024.

Carte 1 – La production d’uranium naturel : une activité concentrée mais pour combien de temps ?



CASSINI Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques

Réalisation: Cassini Conseil, 2024
Sources: World Nuclear Association, AIEA et NEA (2022), World Nuclear News, Orano, Boss Energy, Cameco, EnCore Energy, Ur Energy, Energy Fuels, DIIS, SIPRI, Navoiyuran, Ocean Wall, données compilées par les auteurs

UNE RESSOURCE ABONDANTE MAIS UNE EXPLOITATION CONCENTRÉE

Pays disposant de ressource d'uranium
Une ressource inégalement exploitable
 Principales ressources identifiées par pays (tU):
 112 200 (États-Unis)
 874 700 (Kazakhstan)
 Exploitable à: Entre 80 et 260\$/kg
 Moins de 80\$/kg

Une production concentrée
 Production par pays en 2023 (% production totale)
 0,04 - 1,9 4,5 - 8,5
 14,3 - 22,6 36,7

VERS UNE DIVERSIFICATION DES ESPACES DE PRODUCTION?

Une relance inégale de la production malgré la hausse des prix:
 Évolution de la production par pays entre la période 2018-20 et 2021-23:
 Baisse (>5%) Augmentation (>5%)
 Mine à l'arrêt Mine en relance Mine relancée

L'émergence future de nouveaux espaces de production:
 Capacité de production des projets miniers en développement (tU/an)
 3 000
 1 400
 600
 Projets miniers potentiels

TRANSPORTER LA RESSOURCE

- Principaux points de transit de l'uranium naturel
- ⬢ Lieu de stockage et de transformation (usine de conversion)
- 🚧 Frontière avec le Bénin fermée depuis le coup d'état militaire au Niger (juillet 2023)

6. De nouvelles routes pour désenclaver les producteurs d'Asie centrale

Si l'émergence de nouveaux acteurs miniers annonce les prémices d'une diversification des flux d'approvisionnement en uranium, les échéances restent encore lointaines et incertaines. Malgré tout, **le contexte géopolitique pousse déjà vers une reconfiguration des flux actuels**, en particulier en provenance d'Asie centrale. Car une part significative des exportations en provenance du Kazakhstan dépend encore du transit par la Russie et les ports de Saint-Petersbourg ou d'Oust-Oulga. Une connexion dont la fiabilité est remise en cause par la guerre en Ukraine et les politiques de sanctions occidentales contre Moscou⁸⁵.

Le corridor transcaspien – un moyen de contourner la Russie

Avant même la guerre en Ukraine, le Kazakhstan percevait déjà le risque que représentait l'itinéraire russe. Un constat qui a poussé l'entreprise d'État Kazatomprom à mettre en place en 2018 une alternative via la mer Caspienne, à l'occasion de la fermeture du port de Saint-Petersbourg pendant la coupe du monde de football en Russie⁸⁶ : **Le corridor transcaspien (TITR)**. Cette route joint les principaux centres de production kazakhs avec le port d'Aktaou sur la Caspienne, puis le port de Baku en Azerbaïdjan et enfin la Géorgie par laquelle les marchandises accèdent à la mer Noire, puis la Méditerranée, sans passer par la Russie⁸⁷.

En 2023, 2 300 tonnes d'uranium kazakh ont transité par cette route, soit 10 % de la production annuelle de Kazatomprom, dont 64 % des exportations à destination du marché occidental⁸⁸. Une part non négligeable, appelée à prendre de l'ampleur au vu des échanges diplomatiques entre les pays de transit de la TITR, l'Union européenne, mais aussi la Chine, pour intensifier les échanges⁸⁹.

Cependant, **cette voie présente des goulets d'étranglement** et des freins à son développement. Tout d'abord, la nature radioactive de l'uranium augmente les contraintes logistiques et limite le nombre d'acteurs en capacité de transporter une telle marchandise

⁸⁵ Kazatomprom, *Kazatomprom 3Q22 Operations and Trading Update* (Astana : 26 octobre 2022).

⁸⁶ Ben Finegold et Nick Lawson, « uranium and its New Silk Road – Further Problems for Western Buyers », *Ocean Wall*, octobre 2022.

⁸⁷ Ibid.

⁸⁸ « Kazatomprom 4Q23 Operations and Trading Update », Kazatomprom, 1 février 2024.

⁸⁹ Wilder Alejandro Sánchez, « Kazakhstan's Uranium Industry and the Middle Corridor Come Together », *The diplomat*, 30 janvier 2023.

pour des raisons matérielles, assurantielles, politiques ou sécuritaires⁹⁰. D'autre part, le transit par l'Azerbaïdjan et la Géorgie n'est pas sans risque. Les tensions géopolitiques entre l'Azerbaïdjan, l'Arménie voisine et la France ainsi que les divisions politiques qui animent la Géorgie pourraient perturber cette voie d'exportation⁹¹.

Le corridor d'Alashankou – la prise d'influence chinoise au Kazakhstan

Un autre moyen de contournement pour le Kazakhstan serait **l'exportation vers son voisin chinois**. Une évidence d'un point de vue commercial, étant donné que la Chine importe les deux tiers de ses importations d'uranium du Kazakhstan en 2023 et est aujourd'hui le deuxième plus important consommateur d'uranium au monde⁹². Pourtant, **les échanges entre les deux pays reposent encore sur des routes indirectes, au prix d'un surcoût logistique et d'un risque géopolitique pour Pékin** qui craint d'exposer son transit de matériaux stratégiques aux sanctions étasuniennes, au détour de juridictions tierces⁹³. La construction d'ici 2026 d'un **entrepôt logistique dans la ville frontalière d'Alashankou** en Chine, d'une capacité équivalente à la production annuelle du Kazakhstan (23 000 tonnes) atteste de la volonté de Pékin de sécuriser son approvisionnement en uranium *via* des échanges directs avec le Kazakhstan⁹⁴.

Mais la finalité de cette route n'est pas que défensive, en réalité **elle s'intègre dans un plan de captation des exportations kazakhes vers l'est et d'ouverture de l'industrie nucléaire chinoise à l'international**. Concrètement, cette stratégie prévoit que Kazatomprom exporte sa production d'uranium naturel via le corridor d'Alashankou pour y être enrichie en Chine, avant d'être réexportée vers la nouvelle usine d'assemblage d'Ulba, pour y être conditionnée en combustible et réexportée vers la Chine ou à l'international⁹⁵. Par ce biais, la Chine sécurise

⁹⁰ Teva Meyer, *L'approvisionnement en enrichissement de l'uranium : dynamiques et enjeux après l'invasion russe de l'Ukraine*, (Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, Paris : 2023).

⁹¹ Ben Finegold et Nick Lawson, « uranium and its New Silk Road – Further Problems for Western Buyers », *Ocean Wall*, octobre 2022.

⁹² Yanliang Pan, « To Secure Kazakhstan's Uranium, Chinese Players Were Compelled to Accommodate Local Partners », *Carnegie Endowment*, 26 mars 2024.

⁹³ Gregory Xanthos, « With Kazatomprom Deal, China Secures Nuclear Fuel Supply and Enhances Ties With Kazakhstan », *The Diplomat*, 4 juin 2021. <https://urls.fr/8BjsYk>

⁹⁴ Jay Newman, Jim Cornell and Alex Michshenko, « Hot uranium threatens a meltdown for Western energy security », *Financial Times*, 4 janvier 2024.

⁹⁵ Yanliang Pan, « To Secure Kazakhstan's Uranium, Chinese Players Were Compelled to Accommodate Local Partners », *Carnegie Endowment*, 26 mars 2024. <https://urlr.me/EnR6pJ>

ses importations de matières premières, mais **exporte également ses services de conversion et d'enrichissement par le truchement du Kazakhstan**, pendant que Kazatomprom se repositionne sur des activités à plus forte valeur ajoutée⁹⁶.

Ce projet a été initié en 2007 par un protocole d'accord entre Kazatomprom, CNNC et CGNPC, prévoyant **une participation plus importante de la Chine dans l'extraction d'uranium au Kazakhstan, en échange d'une aide à Astana pour acquérir des capacités en aval de la chaîne de transformation**⁹⁷. Il s'est concrétisé en 2024 avec le lancement de la première usine d'assemblage de combustible du Kazakhstan, réalisé en partenariat avec la Chine (CNNC et CGNPC). Cette usine est destinée à fournir à la Chine du combustible assemblé pendant un minimum de vingt ans, *via* le corridor d'Alashankou, mais aussi d'exporter sous forme d'assemblage l'uranium kazakh enrichi en Chine, via la Russie ou la TITR⁹⁸.

Le risque du retour d'une production artisanale

Le minage artisanal est un mode d'extraction informel où des individus extraient des minerais à l'aide d'outils rudimentaires, les exposant souvent à des risques importants d'un point de vue physique ou chimique. Le minage artisanal de l'uranium est particulièrement problématique en raison de son impact environnemental et des risques de détournement de l'uranium à des fins militaires. En effet, des pays comme l'Iran sont accusés d'avoir eu recours à des mines artisanales pour contourner les réglementations internationales et les contrôles de l'AIEA⁹⁹.

Bien que le minage artisanal de l'uranium soit difficile à quantifier, il reste très certainement marginal. En République Démocratique du Congo (RDC), la mine de Shinkolobwe pourrait toujours être à l'origine de production artisanale d'uranium¹⁰⁰. La montée des prix de l'uranium récente pourrait être un facteur de relance de cette filière clandestine.

⁹⁶ Jay Newman, Jim Cornell and Alex Michshenko, « Hot uranium threatens a meltdown for Western energy security », *Financial Times*, 4 janvier 2024.

⁹⁷ « Kazatomprom strategises with China », WNN, 15 octobre 2007. <https://url.me/YFM3ca>

⁹⁸ « Kazakhstan exported a batch of nuclear fuel to a Chinese nuclear power plant », Kazatomprom, 16 octobre 2023.

⁹⁹ « Trafic illégal d'uranium | Documentaire », chaîne YouTube de Investigations et Enquêtes, 11 janvier 2016.

¹⁰⁰ *Ibid.*

7. Que retenir ?

- Portés par la hausse des prix de l'uranium, les producteurs historiques rehaussent leurs volumes de production, tandis que le marché s'ouvre vers de nouveaux acteurs en Afrique, en Amérique latine, en Asie centrale et au Moyen-Orient.
- Parmi les potentiels futurs producteurs d'uranium, le Brésil et la Mongolie disposeraient de ressources suffisamment importantes pour devenir des acteurs majeurs du marché. La Mongolie notamment pourrait détenir les réserves les plus importantes au monde, mais ses dépendances critiques envers la Chine et la Russie rendent vulnérables les projets occidentaux sur place.
- Face à la hausse de la conflictualité entre la Russie, la Chine et les pays occidentaux, le Kazakhstan met en place de nouvelles voies d'approvisionnement afin de s'émanciper du transit par la Russie et renforcer ses échanges avec la Chine, notamment sur des technologies nucléaires à plus forte valeur ajoutée.



**COMMENT LES
PRODUCTEURS HISTORIQUES
RÉAGISSENT-ILS FACE À CETTE
NOUVELLE CONFIGURATION ?**

La contraction des prix de l'uranium de 2011 à 2020 a concentré l'extraction sur quelques pays à faible coût. Toutefois, l'envolée des cours depuis 2022 se traduit déjà dans une déconcentration de la production, renforcée par des difficultés conjoncturelles d'approvisionnement en intrants au Kazakhstan et l'accélération de la filière au Canada. Dans cette situation, les principaux producteurs d'uranium seront-ils capables de répondre à une hausse de la demande ?

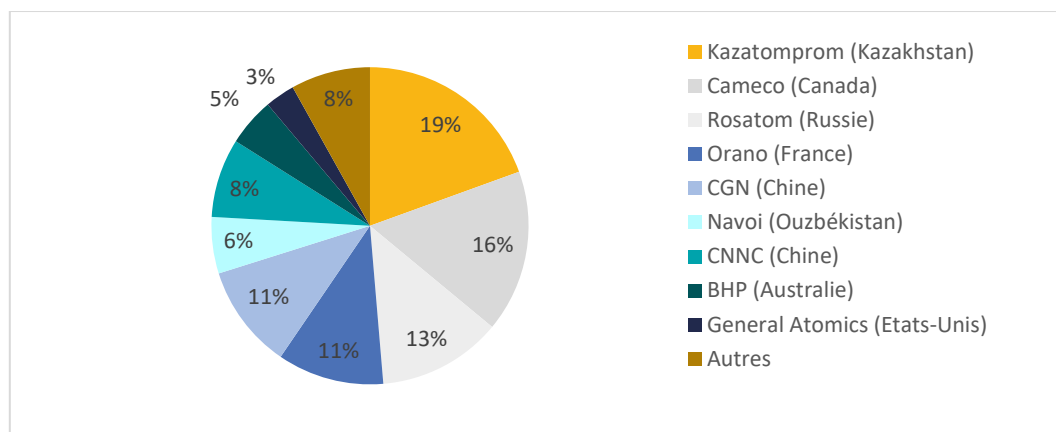
Tableau 1 : Évolution de la production d'uranium par pays entre 2022 et 2023

Pays	Production annuelle en 2023 (tU ₃ O ₈)	Part de la production mondiale en 2023	Evolution de la production annuelle depuis 2022 (tU ₃ O ₈)
Kazakhstan	21 112	36,8 %	-115
Canada	12 974	22,61 %	+5 623
Namibie	8 220	14,33 %	+3207
Australie	4 906	8,55 %	+353
Ouzbékistan	3 663	6,38 %	+363
Russie	2 583	4,50 %	+75
Niger	1 130	1,97 %	-890
Chine	1 700	2,96 %	0
Inde	500	0,87 %	-100
Afrique du Sud	210	0,37 %	+10
Ukraine	348	0,61 %	+248
États-Unis	25	0,04 %	-75

Source : Compilation par les auteurs des données d'entreprises

La domination kazakhe ne se traduit pas entièrement dans la répartition des projets miniers par entreprise, plus déconcentrée. Si Kazatomprom reste le premier producteur mondial (19,4 %), le groupe est talonné par le Canadien Cameco (16,5 %) et le russe Rosatom (12,6 %). Qui, parmi eux, pourra tirer profit de l'évolution du marché de l'uranium ?

Figure : Répartition de la production mondiale d'uranium par entreprise en 2023



Source : Compilation par les auteurs des données d'entreprises

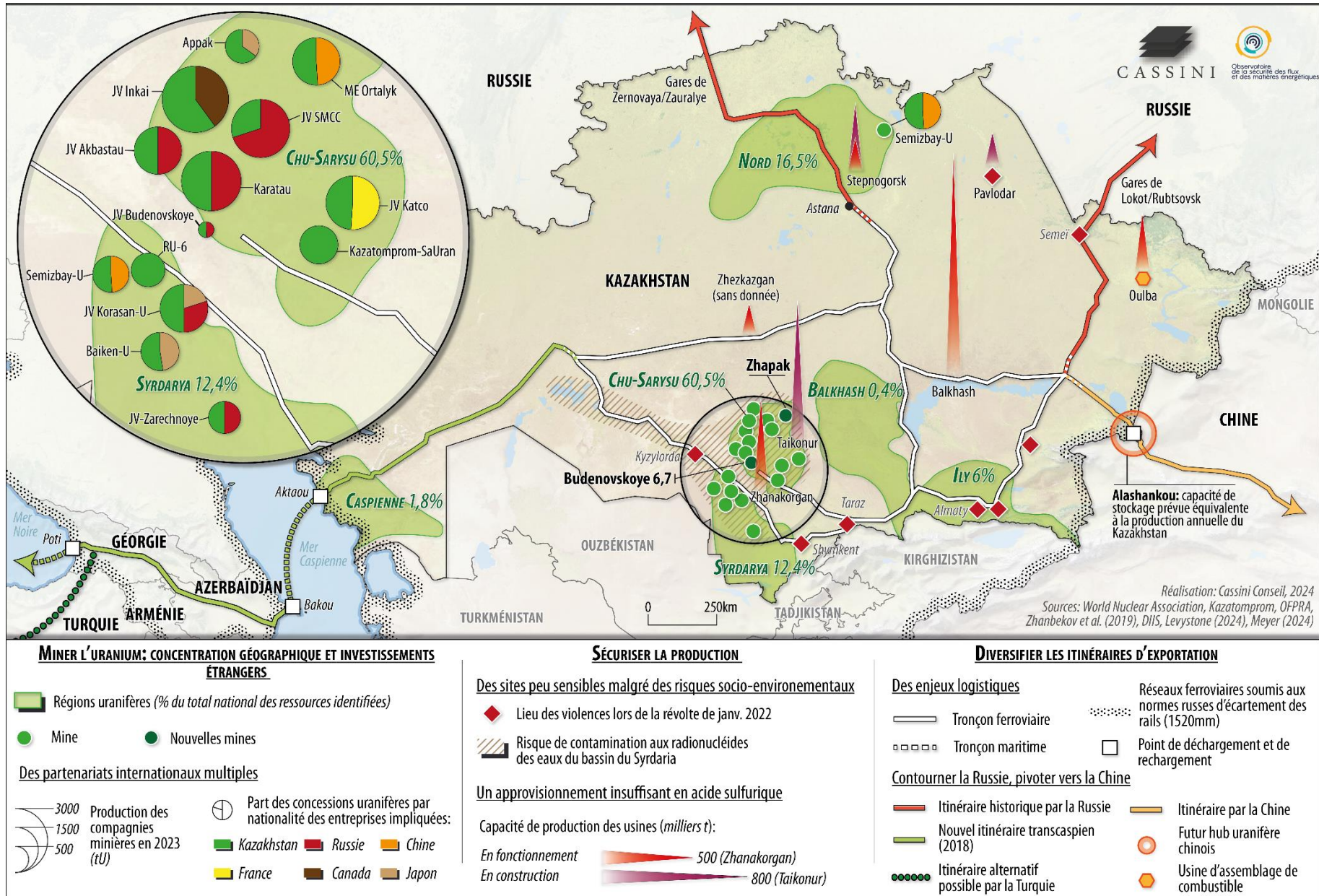
1. Le Kazakhstan : une montée en puissance contrariée

La stagnation du marché après l'accident de Fukushima a permis au Kazakhstan de dominer la filière, jusqu'à représenter **43 % de la production mondiale en 2022**. Le pays profite de conditions géologiques favorables, possédant les 2/3 des réserves exploitables par ISL (voir annexe 3). Treize des 15 mines d'uranium dans le monde dont le coût d'opération est inférieur à 20 \$/lb_{U3O8} se trouvent au Kazakhstan, pour une moyenne mondiale de 70 \$¹⁰¹. Cependant, la capacité du pays à répondre à une augmentation de la demande est incertaine. Pour soutenir les prix sur le marché, l'entreprise publique Kazatomprom avait introduit en 2017 des coupes dans sa production correspondant à 20 % de l'extraction autorisée par le gouvernement, soit environ 7000 tU par an. En août 2022, Kazatomprom annonçait stopper ses coupes en 2025. Pourtant, dès l'été 2024 le groupe fait savoir qu'il ne pourra pas tenir cet engagement¹⁰².

¹⁰¹ Kazatomprom, « Investor Handout 1H2023 ».

¹⁰² « Kazatomprom lowers production expectations », World Nuclear News, 23 Août 2024.

Carte 2 – Enjeux de l'extraction de l'uranium au Kazakhstan



Ces difficultés proviennent d'abord de problèmes d'approvisionnement en acide sulfurique¹⁰³, principal intrant nécessaire à l'ISL (voir annexe 3). En raison de la composition des gisements, l'ISL au Kazakhstan consomme de sept à dix fois plus d'acide sulfurique qu'en Australie, deuxième plus grand producteur au monde utilisant cette technique¹⁰⁴. En 2023, les besoins de l'industrie uranifère kazakhe s'élevaient entre 1,5 à 2,2 millions de tonnes d'acide sulfurique.

L'augmentation de la production d'uranium prévue pour 2025 devait faire passer ces volumes à 3 millions de tonnes¹⁰⁵. Or, Kazatomprom est déjà en concurrence avec d'autres secteurs, principalement la fabrication de fertilisants pour l'agriculture. Outre des achats sur le marché interne, Kazatomprom opère deux usines pour une capacité d'environ 680 000t par an¹⁰⁶. De plus, l'importation d'acide est complexe, ralentie par des difficultés liées au transport transfrontalier de matières corrosives et un marché international en tension. Afin de sécuriser son approvisionnement, le groupe a lancé la construction d'une nouvelle usine, d'une capacité de production de 800 000t¹⁰⁷. Mais ce site ne devrait être opérationnel qu'en 2026.

14 entreprises exploitent de l'uranium au Kazakhstan. Seules deux (SaUran et Ru-6) appartiennent entièrement à Kazatomprom. Les 12 autres sont des coentreprises entre Kazatomprom et des groupes étrangers qui, au titre du droit kazakh, ne peuvent pas exercer seules. Le gouvernement kazakh a systématiquement négocié l'exploitation de ses gisements par des groupes étrangers contre une assistance pour l'intégration verticale de la filière dans le pays. Cette situation permet à Kazatomprom de conserver le contrôle sur plus de la moitié de la production en 2023 (55 %), suivie par Uranium One, filiale de Rosatom (21 %), loin devant la CGN, Orano et Cameco (6 % chacun) ainsi que trois acteurs japonais qui, combinés, représentent 5,5%. L'ouverture en 2025 des blocs 6 et 7 de la mine de Budenovskoye, détenus à 49 % par Rosatom, devrait augmenter la part russe. Kazatomprom a toutefois déjà revu à la baisse ses prévisions d'extraction pour ce site en 2025, passant de 4000tU à 1300 tU.

¹⁰³ Un coproduit du raffinage d'hydrocarbure, de plus en plus sollicité par les industries chimiques et les besoins de la transition énergétique, mais qui enregistre un recul notable de production dans le sillage de la décarbonation.

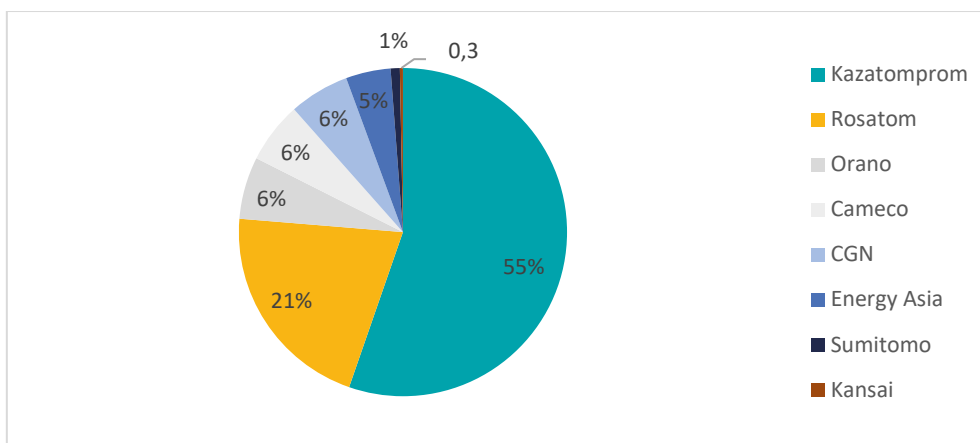
¹⁰⁴ World Nuclear Association, « In-Situ Leach Mining of Uranium », <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium> (page consultée le 5 novembre 2024)

¹⁰⁵ « Stepnogorsk Sulfuric Acid Plant Plans Capacity Doubling to Meet Kazatomprom's Needs », Minex, 8 avril 2024.

¹⁰⁶ Ibid.

¹⁰⁷ Ibid.

Figure 4 : Répartition de la production kazakhe par entreprise (2023)



Source: Kazatomprom, Integrated Annual Report 2023

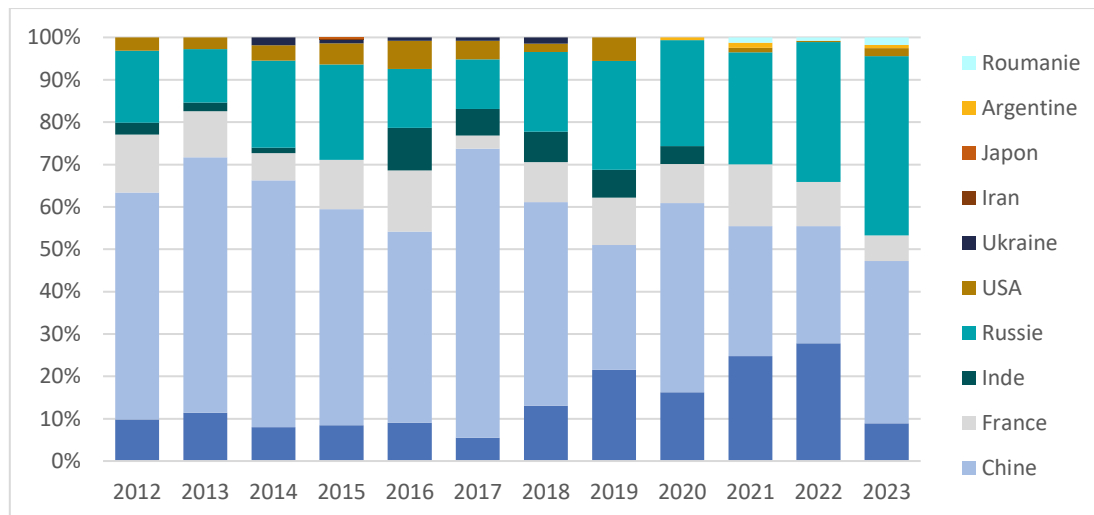
Le contrôle étatique de l'industrie uranifère kazakhe reste fort. L'extraction est régie par des accords octroyés par le ministère de l'Énergie qui fixent les volumes annuels de production. De plus, Kazatomprom appartient pour 63 % au fonds souverain kazakh Samruk-Kazyna et à hauteur de 12 % au ministère des Finances. Cette structure n'évite pas les instabilités internes. Depuis 2020, 19 responsables à la tête des services centraux du groupe (directeurs financiers, directeurs des ressources humaines, directeurs commerciaux, directeur de la stratégie) ont démissionné. S'il est difficile d'établir les raisons, plusieurs ont annoncé leur départ après avoir critiqué le rapprochement avec la Russie avec la vente du projet de Budenovskoye à Rosatom en 2023¹⁰⁸.

La réforme de la fiscalité constitue un second point d'instabilité. Pour profiter de la hausse du marché, Astana est passée en 2023 d'une taxation basée sur le coût de production de l'uranium, à une indexation sur le prix du marché. Concrètement, à partir de 2026, toute entreprise se verra imposer un taux variant de 4 à 18 % sur les revenus de ses ventes, selon ses volumes de production. Les analystes anticipent que ce fonctionnement pourrait entraîner des effets de seuil dissuadant les industriels d'augmenter leur production pour ne pas tomber dans une tranche supérieure. Avec l'utilisation de la route transcaspienne, Cameco considère

¹⁰⁸ « Russia uranium deal caused manager exodus at Kazakh mining giant », Mining.com, 16 mai 2023.

que cette réforme rapprochera les coûts d'opération de ses mines kazakhes de celles du Canada¹⁰⁹.

Figure 5 : Destination des exportations d'uranium venant du Kazakhstan



Source : UN Comtrade (Code douanier HS 284410 : Natural uranium and its compounds)

La Russie reste la première destination de l'uranium extrait au Kazakhstan, devant la Chine. Cette part devant augmenter avec l'ouverture de la mine de Budenovskoye dont la totalité de la production entre 2024 et 2026 sera la propriété de Rosatom. Mais avec 24 clients dans 11 pays¹¹⁰, Kazatomprom accélère sa diversification. L'entreprise a signé avec les Émirats arabes unis (EAU) ainsi que la Roumanie en 2023 et a engagé des négociations en mars 2024 avec l'administration états-unienne.

Kazatomprom se rapproche surtout de la Chine. Outre les participations directes de CGN, le groupe a signé en 2023 et 2024 deux accords de vente avec CNNC. Si les volumes ne sont pas connus, ils sont assez importants pour déclencher un vote obligatoire à l'Assemblée générale de Kazatomprom afin d'approuver le contrat¹¹¹. Cette procédure n'est nécessaire que pour des contrats dont la valeur dépasse les 50 % de valeur comptable totale des actifs de la société, soit 2,5 milliards de dollars. 45 % des recettes tirées des exportations d'uranium kazakh entre janvier et juillet 2024 venaient de Chine. Autre témoignage de ce rapprochement au détriment

¹⁰⁹ « 2024 Q2 News Release », Cameco, 31 juillet 2024.

¹¹⁰ Kazatomprom, « Financial results 2024 », https://www.kazatomprom.kz/en/investors/finansovaya_otchetnost (page consultée le 05 novembre 2024)

¹¹¹ « Notice of Extraordinary General Meeting of Shareholders of Kazatomprom », Kazatomprom, 15 novembre 2024.

de la Russie, CNNC a racheté à Rosatom en décembre 2024 ses parts (49,9 %) dans les mines de Zarechnoye, quand CGN annonçait vouloir acquérir les 30 % appartenant à Rosatom dans celle de Khorasan-U. La construction par CNNC de l'entrepôt d'uranium au port ferroviaire frontalier d'Alashankou, ainsi que la négociation par Kazatomprom avec Pékin de l'ouverture d'une route d'exportation par Shanghai devrait accélérer cette tendance.

2. Le retour de l'industrie uranifère canadienne ?

Au Canada, la stagnation du marché a mené à l'arrêt par Cameco de la mine de McArthur en 2017, ne maintenant en activité réduite que le site de Cigar Lake. La production canadienne a fortement chuté, passant de 14 000 tU en 2016 à 3 880 tU en 2020. Face à la hausse des prix, Cameco a réouvert McArthur en 2022, permettant en 2023 au Canada d'extraire 5 623 tU supplémentaires. Cigar Lake (appartenant à 50 % à Cameco, 37 % à Orano et 13 % aux Japonais Idemitsu et TEPCO) ainsi que McArthur (70 % Cameco et 30 % Orano) sont situés au nord du Saskatchewan, dans le bassin est de l'Athabasca où se trouvent les gisements aux teneurs d'uranium parmi les plus hauts du monde. L'annonce par Orano de la relance de McClean en Athabasca (appartenant à 30 % au Canadien Denison) d'ici à 2025 pourrait rajouter 1200 tU par an de production jusqu'en 2030. Avec 85 % de sa production dédiée à l'exportation, la relance de l'industrie uranifère canadienne pourrait-elle soutenir l'augmentation de la demande ?

En 2024, Cameco n'envisageait d'exploiter McArthur qu'à 70 % de ce que sa licence le lui autorise, afin d'éviter la surproduction¹¹². L'année précédente, l'entreprise avait dû réduire de 12 % ses prévisions de production face aux difficultés techniques liés à la réouverture de la mine, sans qu'il ne soit aujourd'hui certain que ces problèmes soient résolus. L'augmentation de la production pourrait venir de l'exploitation de l'ouest de l'Athabasca. Le projet le plus avancé est celui de Rook 1, par le Canadien NexGen, envisageant une production allant jusqu'à 14 000 tU. Mais le doublement de l'estimation des coûts de mise en production en 2024, passant à 1,6 milliard de dollars, laisse planer un doute quant à la capacité de l'entreprise à sécuriser les financements nécessaires¹¹³. Qui plus est, l'ouest de l'Athabasca manque d'une

¹¹² « 2023 Q3 News Release », Cameco, 8 février 2024.

¹¹³ « NexGen Raises Cost of Canadian Project to 1.6 billion », Bloomberg, 1^{er} août 2024.

raffinerie d'uranium. Enfin, si NexGen a réussi à maintenir ses relations avec les Premières Nations et les populations Métis, ce n'est pas le cas des autres initiatives en Athabasca.

Bien que l'autorisation de l'exploitation de l'uranium soit d'abord du ressort des provinces¹¹⁴, le gouvernement fédéral a enclenché en 2022 une politique active de soutien de la filière. Celle-ci se traduit par l'intégration de l'uranium dans la « Stratégie canadienne sur les Minéraux critiques », visant deux objectifs¹¹⁵ : encourager l'ouverture de nouveaux gisements en octroyant un crédit d'impôt de 30 % sur les dépenses d'exploration et empêcher l'accaparement des ressources par des puissances hostiles. Le gouvernement fédéral utilise l'*Investment Canada Act*, qui lui permet de refuser la participation d'entreprises étrangères à des activités stratégiques¹¹⁶. Cet outil prend une importance grandissante alors que Fission Energy, dont le chinois CGN est actionnaire à 12 %, développe sept projets en Athabasca.

3. Des réserves importantes mais peu de production : le paradoxe australien devrait perdurer

Pays disposant des réserves les plus importantes au monde, l'Australie dispose de 28 % des ressources d'uranium à moins de 130 \$/kg. Pourtant, seulement 9 % de la production mondiale provenait d'Australie en 2023, extrait à Olympic Dam et Four Mile. Les coûts d'exploitation ont mené à l'arrêt des sites de Ranger Mine en 2021 ainsi que de Beverley et de Honeymoon en 2013. En cours de relance, cette dernière devrait produire 1000 tU par an dès 2026. La relative faible production de l'Australie relève de problèmes politiques internes.

Premièrement, l'exploitation nécessite l'autorisation du gouvernement fédéral et des États. Or, l'Australie-Méridionale est le seul État où l'exploration et l'exploitation de l'uranium sont autorisées (outre la Tasmanie, qui ne dispose pas de ressource). Au Victoria, le *Nuclear Activities Act* interdit les deux. La Nouvelle-Galles-du-Sud autorise l'exploration, mais en interdit l'extraction. Le Queensland et l'Australie-Occidentale appliquent un moratoire, mais sans texte législatif. Enfin, le cas du Territoire du Nord est particulier. Si son gouvernement est

¹¹⁴ Les provinces de Colombie-Britannique et de Nouvelle-Ecosse interdisent l'exploitation de l'uranium. Le Québec poursuit également un moratoire informel ayant par le passé empêché l'ouverture de mines.

¹¹⁵ Gouvernement du Canada, « Stratégie canadienne sur les minéraux critiques », <https://www.canada.ca/fr/campagne/mineraux-critiques-au-canada/la-strategie-canadienne-sur-les-mineraux-critiques.html> (page consultée le 03 novembre 2024).

¹¹⁶ La Signature du *Canada and European Union Comprehensive Economic and Trade Agreement* (CETA) permet toutefois aux acteurs européens de s'affranchir de ces limites.

favorable à l'extraction de l'uranium, sa constitution ne lui confère aucune compétence dans le domaine nucléaire pour lequel il doit appliquer les recommandations fédérales. **Ainsi, sur les 13 projets uranifères les plus avancés, 11 se trouvent dans des États prohibant leur exploitation**, contenant environ 20 % des ressources du pays ¹¹⁷. Un changement à court terme est peu probable. Le moratoire en Australie-Occidentale a fluctué. Introduit en 2002 par les travaillistes, il est retiré par les libéraux après leur victoire aux élections locales de 2008, puis réintroduit en 2017. Le compromis trouvé à cette occasion exempt quatre mines, pour une production annuelle espérée de 10 000 tU. Toutefois, faute de rentabilité, aucune n'a été ouverte. Si le parti libéral fait campagne sur le retour de l'uranium, les entreprises minières impliquées ont déjà annoncé que l'instabilité réglementaire limiterait leurs investissements.

Deuxièmement, la majorité des gisements sont situés sur, ou à proximité, de terrains appartenant aux communautés aborigènes¹¹⁸. Dans le Territoire du Nord, le gouvernement fédéral a obligé l'administration à stopper le développement de la mine de Jabiluka, située sur les terres du peuple aborigène Mirarr et exploitée par une filiale de Rio Tinto.

4. Le Niger dans le contexte post-coup

La situation au Niger après le coup d'État du 26 juillet 2023 demande à séparer la **réalité de l'industrie uranifère sur le terrain et son utilisation dans des stratégies d'influences informationnelles antifrancaises par des intérêts russes**. Au Niger, le secteur de l'uranium était déjà en perte de vitesse avant le coup d'État. Entre 2013 et 2022, l'extraction y a été divisée par deux, passant de 4518 tU à 2020 tU. Des trois mines exploitées, seule la SOMAIR, appartenant à 63,4 % à Orano et à 26,6 % à l'État nigérien *via* la SOPAMIN, était en fonction en 2023. Les coûts d'exploitation avaient mené la China National Nuclear Corporation (CNNC) à arrêter le site d'Azelik¹¹⁹ en 2015, tandis qu'Orano fermait la mine de la COMINAK en 2021. Toutefois, si le Niger ne représentait que 4 % de la production mondiale en 2022, il fournissait près d'un quart de l'uranium acheté par les opérateurs de réacteurs dans l'Union européenne (UE). Sur les dix dernières années, 20 % de l'uranium utilisé en France par EDF venait du Niger.

¹¹⁷ Minerals Council of Australia, *Untapped Potential*, (Victoria : 2019).

¹¹⁸ Andrew Tunnicliffe, « What next for Australia's uranium mines? », *Mining Technology*, 9 février 2023.

¹¹⁹ Azelik appartient à 62 % à des entreprises chinoises, 33 % à l'État nigérien et 5 % au sud-coréen KRC.

Le Niger n'a plus exporté d'uranium depuis janvier 2024. **Cette situation relève de problèmes logistiques.** La fermeture des frontières décidée après le coup avait limité l'importation d'intrants. Plus problématique, la fermeture de la frontière avec le Bénin a coupé la ligne ferroviaire jusqu'au port de Cotonou d'où l'uranium était exporté à l'international. Tandis que des intrants ont pu transiter sporadiquement par un corridor secondaire via le port de Lomé (Burkina Faso), la situation sécuritaire au Burkina Faso limite la redirection des flux d'uranium¹²⁰. Le gouvernement nigérien n'a pas répondu aux propositions d'Orano d'exporter l'uranium par avion. En novembre 2024, 1050 tonnes de concentré d'uranium pour une valeur de 300 millions d'euros étaient toujours bloquées sur site.

La position de la junte vis-à-vis des partenaires occidentaux est ambivalente. Le 4 décembre 2024, Orano annonçait avoir perdu le contrôle opérationnel de la SOMAIR, pris par les autorités nigériennes, six mois après s'être vu retirer son permis pour la mine d'Imouraren, mise en sommeil en 2015. L'entreprise devait y relancer des essais en 2024 pour prendre une décision d'exploitation en 2028. Le gouvernement nigérien motive sa décision en dénonçant le non-respect par Orano d'une astreinte à commencer l'exploitation le 19 juin 2024. Les dissensions entre le groupe et la junte reposaient également sur le choix exact du site à exploiter, Niamey souhaitant qu'Orano s'engage dans un gisement à teneur plus faible, mais à la durée de vie plus longue. Enfin la junte s'est saisie de la vente par Orano d'une partie d'un stock d'uranium conservé sur place comme provision pour le réaménagement futur des sites miniers pour faire monter la tension. Le Canadien GoviEx a connu le même sort que le groupe français pour son site de Madaouela. Mais, simultanément, la junte a soigné ses relations avec un autre groupe canadien, Global Atomic, qui développe le gisement de Dasa¹²¹. De plus, en octobre 2024, le gouvernement nigérien renouvelait pour trois années la licence d'exploration de l'Australien ENRG Elements dans l'Agadez. Enfin, le groupe états-unien « African Discovery » est en passe d'acquiescer un permis d'exploration à proximité d'Imouraren¹²².

Au moment de la rédaction de ce rapport, aucune source ne confirme ou n'infirme une tentative d'accaparement par Rosatom des gisements d'Imouraren ou de la Somair, seul ou

¹²⁰ Global Atomic, « Operations | Uranium | Dasa Project », <https://www.globalatomiccorp.com/Operations/Uranium/Dasa-Project/> (page consultée le 2 novembre 2024)

¹²¹David Dalton, « Global Atomic Bullish On Dasa Uranium Project Following Letter Of Support », *NucNet*, 20 août 2024.

¹²² World Nuclear News, « Transfer of exploitation licence for Niger Uranium », 17 juillet 2024.

en partenariat avec Timersoï, la nouvelle entreprise uranifère créée par la junte en 2024. La Russie est présente dans le secteur depuis 2011 et l'obtention d'un permis d'exploration à Tloulouk par GPB Global Resources¹²³. Quatre autres permis sont détenus par African Minerals appartenant à un ressortissant russe. Une délégation nigérienne s'est rendue en mars 2024 au salon Atomexpo à Sochi, principal évènement international de Rosatom. **Le réinvestissement chinois est, quant à lui, bien plus certain.** En juillet 2023, quelques jours avant le coup, la CNNC signait avec le gouvernement nigérien un accord visant à relancer la Société des mines d'Azelik, une décision confirmée en mai 2024.

Les tensions franco-nigériennes ont été amplifiées par la stratégie de guerre informationnelle menée par la Russie sur le terrain de l'uranium. Les travaux de l'African Digital Democracy Observatory ont identifié une attaque coordonnée sur les réseaux sociaux après le coup, mobilisant deux narratifs¹²⁴. Le premier **mobilise l'uranium dans un discours centré sur la notion de néocolonialisme européen en Afrique** afin d'amplifier les sentiments anti-français. Ces publications propagent l'idée qu'Orano accaparerait l'uranium nigérien sans le payer, ou pour un prix inférieur au marché. Le deuxième discours vise à **déstabiliser les opinions publiques en France et en Europe en amplifiant le narratif de la dépendance aux importations** du Niger. L'African Digital Democracy Observatory a relié ces actions d'influence au site internet russe *African Initiative*¹²⁵, nouvelle tête de pont de la propagande russe en Afrique. Ces narratifs ont aussi été amplifiés sur les réseaux sociaux par des relais de diffusion indirects : influenceurs spécialisés dans les marchés des commodités, milieux antinucléaires cherchant à contredire le discours sur l'indépendance énergétique et acteurs favorables au nucléaire y voyant un argument en faveur du développement de surgénérateurs. Il faut analyser avec les mêmes précautions les informations rapportées initialement par *Africa Intelligence* en avril 2024 sur des négociations entre Niamey et l'Iran pour l'exportation de 300t d'uranium contre la fourniture de systèmes de défense aérienne et de drones¹²⁶. S'il n'est pas possible de vérifier ces sources, ce discours n'est pas nouveau. Le Niger a souvent été

¹²³ ITIENiger, « Cadastre minier », <https://itieniger.ne/cadastre-2/> (page consultée le 2 novembre 2024)

¹²⁴ Allan Cheboi et Eliud Akwei, « Dissecting the online networks supporting the Niger coup », *African Digital Democracy Observatory*, 6 février 2024.

¹²⁵ Ibid.

¹²⁶ Pierre-Elie de Rohan Chabot et Paul Deutschmann, « Washington watches as Tehran negotiates with Niamey for 300 tonnes of uranium », *Africa Intelligence*, 30 avril 2024.

présenté à tort dans les médias comme un fournisseur d'« États voyous », à l'image de l'Iraq au début des années 2000¹²⁷.

5. Les ambitions grandissantes de l'Ouzbékistan

Le président ouzbek, Shavkat Mirziyoyev, a initié par décret en juillet 2022 l'accélération de du développement de l'industrie uranifère, visant à tripler les volumes extraits d'ici à 2030¹²⁸. La production nationale était de 3 660 tU en 2023, soit 10 % de plus que l'année précédente. Le pays ne dispose cependant que de 2 % des ressources identifiées à moins de 130 \$/kg, soit 131 000 tU.

Cette croissance s'appuie sur plusieurs stratégies. Premièrement, la gouvernance de la filière a été rationalisée autour d'une entreprise publique, Navoiyuran, dédiée à l'uranium. Le groupe a également recruté en 2023 des conseillers provenant d'Orano au Kazakhstan. Deuxièmement, Navoiyuran a engagé des investissements pour baisser les coûts de production et valoriser d'autres métaux présents dans les gisements. Troisièmement, le groupe a débuté un programme d'expansion des capacités de production d'acide sulfurique. Quatrièmement, l'entreprise cherche à diminuer ses coûts de transport, qui ont augmenté de 38 % entre 2023 et 2024¹²⁹. L'uranium ouzbek n'a pas d'autre exutoire que le Kazakhstan. Un temps envisagé, l'utilisation du port iranien de Chabahar a été abandonnée après la chute des accords nucléaires avec Téhéran. Depuis début 2024, Navoiyuran cherche à mobiliser le corridor ferroviaire transeurasien afin d'atteindre, en traversant la Russie, le port de Riga¹³⁰.

Le gouvernement ouzbek cherche à répéter la stratégie kazakhe de coentreprises pour financer sa croissance. En 2024, Navoiyuran était la seule entreprise produisant de l'uranium dans le pays, en exploitant neuf mines. Le groupe s'est rapproché de CNNC et du japonais Itochu pour investir dans ses gisements de Jantuar et Mandali. Le projet d'Orano à Dengeldi reste le plus avancé. Les essais menés par la coentreprise Nurlikum, appartenant à 51 % au

¹²⁷ Joseph Cirincione, « Niger Uranium: Still a False Claim », *Carnegie Endowment*, 28 août 2004.

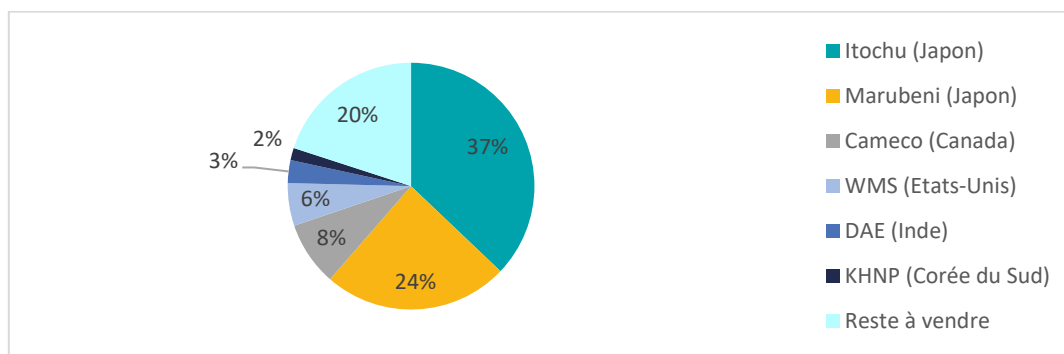
¹²⁸ Navoiyuran, « Business Plan 2024 », https://en.navoiyuran.uz/wp-content/uploads/2024/07/Business_plan_24_-Navoiyuran-ENG.pdf (page consultée le 28 octobre 2024)

¹²⁹ Idib.

¹³⁰ « Un transport d'uranium ouzbek par la Lettonie », TV3, 12 mai 2024.

groupe français et à 49 % à Navoiyuran, devraient aboutir en 2025. Rosatom n'a, pour le moment, pas réinvesti l'uranium ouzbek¹³¹.

Figure 6 : Part de la production ouzbek d'uranium prévue jusqu'en 2030 déjà achetée en 2024



Source : Navoiyuran, Business Plan 2024

Les marges de pénétration dans le marché sont très limitées. En janvier 2024, 80 % de la production prévue d'ici à 2030 était déjà vendue¹³² à deux entreprises japonaises de trading, Itochu (37,1 %) et Marubeni (24,3 %), à Cameco (8,4 %), au broker états-unien WMC Energy (5,6 %), au Département de l'Énergie atomique indien (3 %) et au Sud-Coréen KHNP (1,6 %). Les 20 % restant devraient être achetés par CNNC, CGN, le japonais Sumitomo, et l'Émirati ENEC.

6. Namibie : entre mainmise chinoise et tensions sur l'accès à l'eau

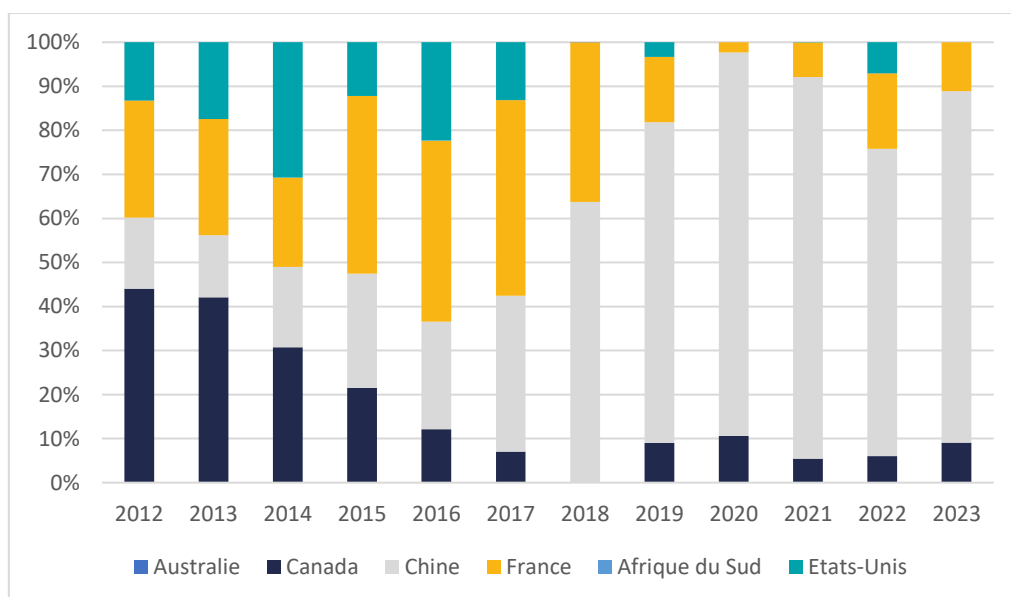
Avec 8 220 tonnes d'uranium extraites en 2023, soit 3 207 tonnes de plus que l'année précédente, **l'industrie uranifère namibienne connaît sa première année de croissance après 5 années de stagnation.** Les gisements namubiens sont à faible teneur, ne sont pas adaptés à l'ISL et ne contiennent pas d'autres minerais exploitables. Le pays compense par une réputation de stabilité politique ainsi que par un environnement fiscal et réglementaire attractif. La Namibie profite également d'infrastructures de transport robustes et d'une connectivité internationale efficace, à l'image du port de Walvis Bay d'où l'uranium est exporté, situé à 50 km par la route des deux mines en activité dans le pays, Husab et Rössing.

¹³¹ « Nuclear fuel from Uzbekistan to be processed in Russia and returned after use », Kun.uz, 17 octobre 2024.

¹³² Navoiyuran, « Business Plan 2024 », https://en.navoiyuran.uz/wp-content/uploads/2024/07/Business_plan_24_-Navoiyuran-ENG.pdf (page consultée le 28 octobre 2024)

La croissance namibienne est **d’abord le résultat des investissements chinois**. La mine d’Husab (5 318 tonnes d’U₃O₈ en 2023) appartient depuis 2012 au groupe Swakop Uranium, dont les parts sont détenues à 10 % par l’État namibien et 90 % par Taurus Minerals Limited, elle-même partagée à 60 % par la CGN et à 40 % par la Banque de développement chinoise. Plus petite, avec 2920 tU₃O₈ en 2023, Rössing est détenue à 68,62 % par la China National Nuclear Corporation (CNNC). Le reste des parts appartient à 15 % au fonds d’investissement du gouvernement iranien¹³³, 10 % au gouvernement sud-africain et 3 % au gouvernement namibien. **La main mise chinoise sur l’uranium namibien se traduit dans l’évolution des exportations. En 2023, 80 % de la production partait pour la Chine, contre 13 % dix ans avant.**

Figure 7 : Évolution de la destination des exportations namibiennes d’uranium



Source : UN Comtrade (Code douanier HS 284410 : Natural uranium and its compounds)

Pékin a profité des mauvaises relations entre le gouvernement namibien et les États-Unis au début des années 2010. **Les entreprises chinoises ont également répondu aux demandes de Windhoek de conserver un pied dans l’exploitation**. L’uranium est depuis 2011 une des ressources considérées comme stratégiques par le droit namibien, imposant la participation de l’entreprise publique Epangelo dans tous nouveaux projets. Les relations entre Rio Tinto, ancien propriétaire de Rössing, et le gouvernement namibien s’étaient tendues après que le

¹³³ **L’Iran ne profite ni économiquement ni matériellement de ses parts dans la mine de Rössing**. L’Iran Foreign Investment Company étant placé sur la liste des sanction de l’administration états-uniennes, ses dividendes sont versés sur un compte en Namibie, dont le volume atteignait 18 millions de dollars en 2022.

groupe minier l'aït attaqué en justice pour diminuer ses royalties. La CNNC a également fait des concessions politiques. Tandis que Windhoek ne détient que 3 % des parts de Rössing, elle conserve 51 % des droits de vote pour les thématiques d'intérêt national. Enfin, la prise en main par la Chine s'est accompagnée d'investissements (agrandissement des terminaux de Walvis Bay, réhabilitation des chemins de fer) par des entreprises chinoises.

L'augmentation de la production namibienne pourrait aussi profiter à la Chine. Arrêtée en 2018, la mine de Langer Heinrich produit à nouveau de l'uranium depuis juillet 2022, visant 2000 t/an en 2025. Le site est détenu à 75 % par l'Australien Paladin et à 25 % par CNNC. Simultanément, la CNNC détient 60 % dans Zhonghe Ressources, qui explore un nouveau gisement près de Rössing. D'autres projets, plus incertains, se développent, dont celui d'Orano, qui n'a pas encore pris de décision quant à la réouverture de sa mine de Trekkopje.

Les tentatives de pénétration de Rosatom ont été stoppées par le gouvernement. En 2021, Rosatom annonçait l'ouverture d'ici à 2029 du gisement de Wings à l'ouest du pays. L'année suivante, le ministère de l'Agriculture suspendait ses permis, au titre de la gestion de l'eau. Alors que Rosatom envisage d'extraire l'uranium par ISL, le gouvernement se justifie en invoquant un risque pour l'aquifère transfrontalier de Stampriet. Rosatom, qui a récemment ouvert des locaux sur place, tente de structurer une base de soutien locale. Le groupe y a subventionné des services médicaux, réaménagé un parc municipal et acheté des véhicules pour la police. Il a également organisé un voyage d'étude au Kazakhstan, avec des élus et des médias locaux, pour présenter les techniques d'ISL.

L'accès à l'eau reste un facteur limitant de l'augmentation de la production en Namibie. Vulnérable en raison de son climat et de précipitations erratiques, le pays traverse une grave sécheresse. Ces quatre dernières années, la production d'Husab et de Rössing a été limitée par des difficultés d'approvisionnement en eau. La Banque de Namibie a déjà averti que ces coupes continueraient en 2024 et 2025¹³⁴. À titre d'exemple, avec 8,3 millions de litres d'eau nécessaires par an, la mine d'Husab est le deuxième plus grand consommateur du pays, après la capitale Windhoek¹³⁵. En plus des réseaux de l'entreprise publique NamWater, les deux mines s'approvisionnent auprès de l'usine de dessalement d'Orano à Wlotzkasbaken. D'une

¹³⁴ Andrew Maramwidze, « Uranium Boom loses steam », Namibian Mining, 17 avril 2024.

¹³⁵ CGN, « Husab Sustainability Report 2021 ».

capacité théorique de 20 millions de m³/an, l'usine n'a produit en 2023 que 14 millions de m³ en partie en raison de problèmes techniques. Pour assurer son approvisionnement, la CGN a lancé en 2024 la construction d'une nouvelle usine, d'une capacité de 20 millions de m³/an, devant démarrer d'ici à 2026.

Produire de l'uranium en Ukraine

En janvier 2022, le parlement ukrainien entérinait un plan visant à augmenter la production d'uranium afin de répondre à la totalité de ses besoins d'ici à 2026. Ce taux de couverture n'était alors que de 30 %, grâce à l'exploitation de trois mines, Ingulskaya, Smolinskaya et Novokonstantinovskoye opérées par l'entreprise publique VostGOK (SkhidGZK en ukrainien). Les trois sites se trouvent dans l'oblast de Kirovohrad, à proximité de la ville de Kropyvnytskyi, en arrière du front.

Le gouvernement ukrainien vise à continuer cette politique malgré la guerre. En mai 2023, Energoatom, l'entreprise exploitant les centrales du pays a signé un contrat de dix ans avec Cameco pour la conversion et l'enrichissement du minerai extrait dans le pays. Une première, et unique pour le moment, livraison d'uranium ukrainien vers le Canada a été réalisée en 2023. VostGOK veut rationaliser sa production en ne gardant que la mine de Novokostyantynivska, plus récente, Smolinskaya ayant déjà été fermée en février 2023. Mais la capacité de l'entreprise à continuer sa production est mince. Outre les difficultés logistiques imposées par le conflit avec la Russie – pénurie de consommables, accès à l'électricité – les coûts d'extraction sont élevés et la situation financière de l'entreprise fragile, alors qu'en 2020 déjà son activité était à l'arrêt à la suite de grèves déclenchées après des retards de paiement de ses salariés.

7. Que retenir ?

- La contraction des prix de l'uranium de 2011 à 2020 a concentré l'extraction dans quelques pays à faible coût. Toutefois, l'envolée des cours depuis 2022 se traduit déjà dans une déconcentration de la production.
- Malgré des difficultés d'approvisionnement en acide sulfurique, le **Kazakhstan** concentre plus de 40 % de la production mondiale d'uranium. Bien que le contrôle de

l'État kazakh sur la filière soit important, l'uranium extrait appartient en partie à des entreprises étrangères. En dépit de la diversification de ses exportations, la Russie et la Chine restent les deux partenaires principaux du Kazakhstan.

- Soutenu par son gouvernement fédéral, le **Canada** réouvre certaines mines à l'arrêt, et augmente la production d'autres mines toujours en activité.
- Malgré des réserves prouvées d'uranium les plus importantes au monde, l'Australie n'est que le quatrième producteur mondial d'uranium naturel, notamment en raison de contraintes législatives et de son instabilité réglementaire.
- Avant le coup d'État de juillet 2023, la production du **Niger** était déjà en perte de vitesse. Depuis 2024, ses exportations ont complètement cessé, notamment en raison des tensions entre Orano et la junte au pouvoir, ainsi que de la fermeture de la frontière avec le Bénin. Sur fond de tensions franco-nigériennes, la désinformation russe amplifie le sentiment néocolonial de la population locale, tout en alimentant le narratif de dépendance énergétique vis-à-vis du Niger au sein de la France et de l'Europe.
- En 2022, l'**Ouzbékistan** s'est fixé l'objectif de tripler sa production d'ici 2030. Dans cet objectif, des investissements publics ont été annoncés, de nouvelles routes commerciales sont en développement, et les coentreprises sont encouragées.
- En **Namibie**, la production d'uranium repart à la hausse, en premier lieu grâce à des investissements chinois, ces derniers ayant la main mise sur les exportations du pays. Cependant, la sécheresse qui frappe le pays limite la croissance de cette industrie très gourmande en eau.



**ASSURER LES
APPROVISIONNEMENTS EN
URANIUM : FOCUS SUR
L'EUROPE, LES ÉTATS-UNIS, LA
CHINE, L'INDE ET LA RUSSIE**

La création du Sapporo-5 en décembre 2023, groupe informel rassemblant le Canada, le Japon, la France, la Grande-Bretagne et les États-Unis pour minimiser la place de Rosatom dans le marché du combustible nucléaire, constitue un embryon de politique commune. Mais **les stratégies d’approvisionnement en uranium restent toujours très différentes d’un pays à l’autre, reflétant autant les particularités nationales de l’industrie nucléaire que les rapports de force internes.**

1. La reconstruction d’une filière uranifère aux États-Unis

Aux États-Unis, l’approvisionnement en uranium est entièrement du ressort des 25 entreprises détenant des réacteurs. En 2023, le parc états-unien nécessitait 18 137 tU¹³⁶, soit 26 % des besoins mondiaux. **Le plan de développement du nucléaire publié en septembre 2024 par le Département de l’Énergie (DoE), visant le triplement des capacités d’ici à 2050, demanderait de 55 000 à 75 000 tU/an¹³⁷.** En 2023, les opérateurs de réacteurs ont acheté l’équivalent de 19 847 tonnes d’uranium sous forme naturelle, transformées ou assemblées en combustible, **soit 10 % de plus que nécessaire ainsi que 27 % de plus que l’année précédente¹³⁸.** Les inventaires commerciaux des opérateurs ont augmenté de 7 % entre 2022 et 2023, représentant **2 années et demie de consommation¹³⁹.** Seul un cinquième de ces stocks étaient constitué d’uranium naturel, contre 48 % en uranium enrichi.

En 2023, le Canada était le principal fournisseur des États-Unis (27 %), devant l’Australie (22 %) et le Kazakhstan (22 %). 12 % étaient fournis par Rosatom, sans qu’il ne soit possible de dire s’il s’agit d’uranium extrait de Russie ou des mines kazakhes appartenant au groupe, tandis que 10 % venaient d’Ouzbékistan. Les mines états-uniennes ne fournissaient que 5 %¹⁴⁰. L’évolution la plus notable des dix dernières années tient dans le poids de l’Ouzbékistan,

¹³⁶ World Nuclear Association, « World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements» <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme> (page consultée le 24 novembre 2024)

¹³⁷ U.S. Department of Energy, *Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear* (Washington : septembre 2024).

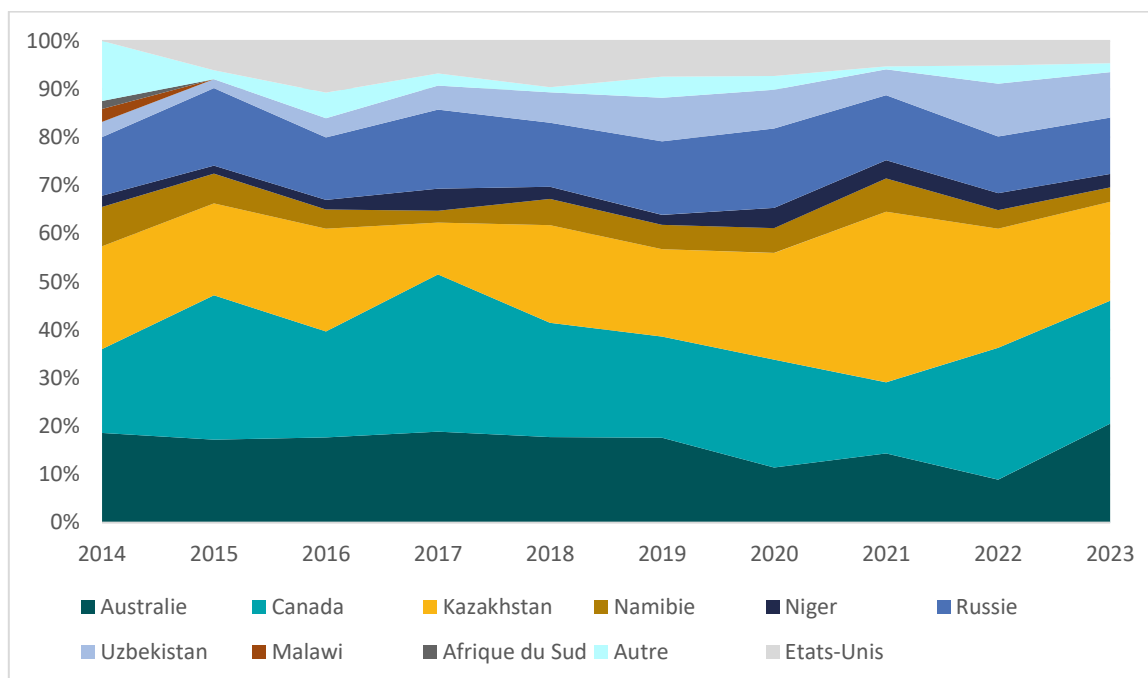
¹³⁸ U.S. Energy Information Administration, «Uranium Marketing annual Report», <https://www.eia.gov/uranium/marketing/> (page consultée le 24 novembre 2024)

¹³⁹ Ibid.

¹⁴⁰ Ibid.

passant de 3 % à 10 % des approvisionnements et du Canada (de 17 % à 25 %), quand celui de la Namibie chutait (de 7 % à 3 %).

Figure 8 : Provenance des achats d'uranium naturel par les exploitants états-uniens



Source : U.S Energy Information Administration, «Uranium Marketing annual Report»

La production états-unienne a été divisée par dix en une décennie, passant de 1 884 tU en 2014 à 190 tU en 2023. **On assiste depuis deux années à une relance substantielle du secteur.** Durant le premier semestre 2024, cinq sites ISL produisaient de l'uranium, soit 2 de plus qu'en 2023. La production du premier semestre 2024 est de 68t, soit l'équivalent de la production annuelle en 2022¹⁴¹. Ces cinq sites appartiennent à des entreprises états-uniennes (Ur-Energy, enCore et Energy Fuels), australienne (Peninsula) et canadienne (Cameco). **Fin 2024, 18 autres sites ISL détenaient une licence, mais restaient en attente d'une décision commerciale, pour une capacité équivalente à 75 % des besoins du parc nucléaire états-unien.** Les annonces sur le terrain des mines à ciel ouvert sont moins optimistes. La disponibilité des raffineries constitue un goulet d'étranglement, alors que les quatre raffineries du pays étaient à l'arrêt fin 2024 et que seule la réouverture de celle de White Mesa (Utah) est envisagée.

¹⁴¹ U.S Energy Information Administration, «Domestic Uranium Production Report - Quarterly», <https://www.eia.gov/uranium/production/quarterly/> (page consultée le 24 novembre 2024)

La relance de la production est soutenue par quatre politiques fédérales principales :

- La constitution d'une réserve stratégique d'uranium naturel par le Département de l'énergie depuis 2021. Pour stimuler la filière, cette mesure stipule que ces stocks doivent être constitués à partir de minerai provenant des États-Unis. Cette stratégie a deux limites. Premièrement, l'uranium doit déjà être produit, impliquant que la réserve ne peut pas financer de nouvelles mines. Deuxièmement, alors que le *Nuclear Fuel Working Group* créé en 2019 avait évalué les besoins de financement pour la réserve à 150 millions de dollars par an sur dix années, le Sénat n'a accepté qu'un budget de 75 millions de dollars en 2021. À ce jour, seuls quatre achats d'uranium naturel ont été réalisés, pour un volume total de 385 tU.
- La loi de finances du Département de la Défense crée, au titre de l'***American Assured Fuel Supply Program***, une réserve de 100 t par an jusqu'en 2026 d'uranium enrichi ainsi que 20 t d'HALEU par an jusqu'en 2027 produit à partir d'uranium extrait aux États-Unis. Cette réserve mobiliserait de 1 500 à 2 500 tonnes d'uranium naturel¹⁴².
- L'attribution de subventions pour le maintien des réacteurs rencontrant des difficultés économiques, introduit par le Civil Nuclear Credit (CNC) Program du Bipartisan Infrastructure Law de 2021. Ce texte mentionne que la priorité doit être donnée aux réacteurs qui utilisent, « autant que possible » de l'uranium produit, converti, enrichi et assemblé aux États-Unis¹⁴³. Toutefois, aucun seuil à partir duquel une centrale devrait être priorisée n'est mentionné, laissant ce point à l'appréciation du DoE.
- L'augmentation des droits de douane sur l'importation d'uranium enrichi chinois, de 7,5 % à 25 %, ordonnée en 2024 par le Bureau du représentant américain au commerce.

Ces approches sont les seules sur lesquelles Démocrates et Républicains ont trouvé un terrain d'entente. Les tensions relèvent autant de désaccords sur le niveau d'intervention de l'État dans le marché chez les Républicains, que de l'opposition d'une partie du camp démocrate à la relance du nucléaire.

¹⁴² Congress, « National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2024 », <https://www.congress.gov/amendment/118th-congress/senate-amendment/999/text?s=a&r=73> (page consultée le 24 novembre 2024)

¹⁴³ US DoE, « Civil Nuclear Credit Program's First Award Cycle FAQ » <https://www.energy.gov/gdo/civil-nuclear-credit-programs-first-award-cycle-faq> (page consultée le 24 novembre 2024)

La relance de la production d'uranium naturel aux États-Unis est aussi **un enjeu pour le Département de la Défense (DoD)**. L'utilisation d'uranium importé est conditionnée à des « obligations » (voir annexe 7) qu'imposent les pays producteurs et qui le restreignent à des fins pacifiques. Le DoD produit le tritium – nécessaire à la maintenance de son arsenal nucléaire – dans les réacteurs de la Tennessee Valley Authority (TVA) par irradiation de lithium. Cette opération, à vocation militaire, ne peut se faire qu'avec de l'uranium « non-obligé ». Or, les inventaires du DoD ne devraient permettre de répondre à ses besoins que jusqu'en 2041¹⁴⁴.

L'ouverture de nouvelles mines pourrait être ralentie par des oppositions locales. C'est particulièrement le cas pour les gisements situés à proximité de terres indiennes ou sur des terres fédérales. Cette contestation est renforcée par l'héritage environnemental, non soldé, des mines ouvertes pendant la guerre froide.

Il est difficile d'anticiper les conséquences du retour de l'administration Trump. Les outils utilisés pour stimuler l'industrie ont été soutenus par des accords bipartisans, ce qui ne devrait pas changer. Deux points sont en suspens. Premièrement, Donald Trump pourrait réintroduire la politique de baisse des normes environnementales et d'ouverture des terres fédérales à l'extraction de l'uranium initié à la fin de son mandat. Deuxièmement, il reste à évaluer les conséquences d'une augmentation des droits de douane sur les importations d'uranium si les taux de 10 à 20 % avancés pendant la campagne étaient appliqués.

2. Euratom et l'absence d'une stratégie européenne d'approvisionnement

En 2023, les 12 pays nucléarisés de l'UE ont consommé 12 672 tonnes d'uranium naturel, soit 22 % de la demande mondiale, dont près de 60 % pour la France, loin devant l'Espagne (8,7 %), la Suède (6,6 %), la Tchéquie (5,1 %), et la Finlande (4,4 %)¹⁴⁵. Les achats atteignaient 14 578 tU, soit 15 % de plus que nécessaire. **Pour la deuxième année consécutive, les exploitants européens ont reconstitué des stocks.** En 2023, ces inventaires s'élevaient à 37 655 tonnes d'équivalent d'uranium naturel, soit 5 % de plus qu'en 2022¹⁴⁶. Ces stocks correspondent à

¹⁴⁴ United States Government Accountability Office, «NNSA Should Clarify Long-Term Uranium Enrichment Mission Needs and Improve Technology Cost Estimates», 2018. <https://www.gao.gov/assets/gao-18-126.pdf>

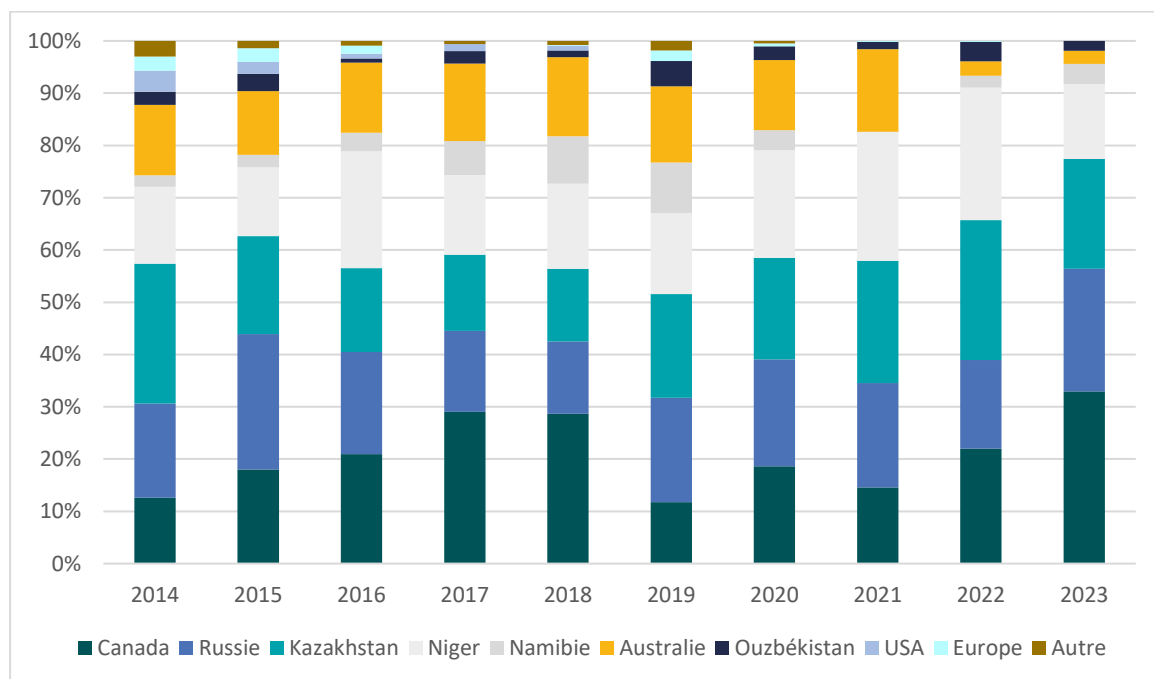
¹⁴⁵ ESA, *Euratom Supply Agency Annual Report 2023*, (Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024)

¹⁴⁶ Toutefois, seul 10% de ces stocks étaient réellement conservé en uranium naturel contre 40% sous forme de combustibles assemblés.

trois années de consommation. Si tous les exploitants ne suivent pas la même stratégie, chacun dispose *a minima* d'une recharge de réacteur. **L'augmentation des inventaires découle aussi d'une stratégie de stockage par les pays d'Europe centrale exploitant des réacteurs VVER** de crainte d'une rupture d'approvisionnement par la Russie et pour assurer la transition en cours vers des fournisseurs occidentaux.

En 2023, les pays de l'UE importaient leur uranium principalement du Canada (32,9 %), de Russie (23 %) – sans qu'il ne soit possible de différencier la part extraite par Rosatom au Kazakhstan de celle en Russie – du Kazakhstan (21 %) et du Niger (14 %), loin devant la Namibie (3,9 %), l'Australie (2,5 %) et l'Ouzbékistan (1,86 %). La part du Canada a fortement augmenté (+86 %) en un an, reflétant la croissance du secteur sur place, ainsi que celle de la Russie (+72,6 %) en raison des stratégies de constitution de stocks de combustible VVER. **L'évolution depuis 10 ans montre un rétrécissement du nombre de fournisseurs.**

Figure 9 : Provenance de l'uranium importé par les pays de l'Union européenne



Source: Euratom Supply Agency, Annual Reports

La dernière mine d'uranium de l'UE a fermé en 2021 à Crucea-Botușana en Roumanie. Si **la guerre en Ukraine a relancé les débats sur l'exploitation des gisements d'Europe**, ces projets sont loin d'être réalisés, à **l'exception du cas finlandais** :

- **La Finlande a relancé la production d'une faible quantité d'uranium en juin 2024.** Le concentré est récupéré comme sous-produit de l'extraction du zinc et du nickel de la mine de Sotkamo. Le site est exploité par le groupe métallurgique Terrafame, appartenant à 71 % à l'État finlandais, avec pour objectif d'extraire 200 tU par an d'ici à 2026.
- En **Espagne**, deux projets de mines à Retorillo (Castille-et-León) et Badajoz (Estrémadure) sont à l'arrêt depuis 2021 après le retrait décidé par les gouvernements régionaux et nationaux des permis d'exploration et d'exploitation. L'instauration d'un moratoire national envisagé par le gouvernement en 2021 n'a pas encore abouti.
- Dans sa stratégie énergétique publiée en novembre 2024, **le gouvernement roumain envisage la relance de l'exploitation de l'uranium**, sans préciser de temporalité. Après la fermeture de Crucea-Botușana en 2021, l'opérateur public Nuclearelectrica a acquis les infrastructures afin de maintenir des capacités indépendantes si l'industrie devait redémarrer.
- En **Tchéquie**, l'extraction d'uranium s'est arrêtée en 2017 après la fermeture de la mine de Rozna. S'il n'y a pas de projet d'ouverture de mine, l'exploration des gisements par l'entreprise publique Diamo a repris dès 2020. Le pays produit de très faibles quantités à partir de déchets provenant d'anciennes mines.
- En **Bulgarie**, en **Hongrie** et en **Slovaquie**, les projets d'exploration lancés au début des années 2010 ont tous été arrêtés faute de rentabilité. Par la suite, le gouvernement slovaque a instauré un moratoire sur l'exploitation de l'uranium, sauf en cas d'approbation des projets par référendum dans les municipalités concernées.
- En **Estonie**, les résidus produits par l'usine de terres rares de Sillamäe ont été envoyés en mars 2021 à la raffinerie de White Mesa pour en extraire de l'uranium.

Les 12 pays nucléarisés de l'Union européenne suivent **des stratégies d'approvisionnement individuelles**, variant en fonction l'implication de l'État. On peut les classer en trois groupes :

- **Des stratégies d'approvisionnement étatisées** dans les pays où le parc nucléaire est exploité par une entreprise publique avec peu d'indépendance vis-à-vis de l'État en Bulgarie, Roumanie, Tchéquie et Hongrie. Tous ont diversifié leurs fournisseurs depuis

l'invasion de l'Ukraine. En **Slovénie**, NEK, l'opérateur de Krško détenu par deux entreprises publiques slovène et croate, achète principalement à Cameco.

- **Des stratégies d'approvisionnement largement privatisées.** C'est le cas aux Pays-Bas, où EPZ exploite l'unique réacteur de Borssele qu'il approvisionne largement par du combustible MOX fabriqué par Framatome avec de l'uranium de retraitement réenrichi en Russie. C'est aussi le cas en Belgique où l'approvisionnement se fait par Synatom, filiale du groupe Engie qui exploite les réacteurs du pays.
- **Des situations intermédiaires**, où l'État maintient des capacités d'orientation comme en France, en Espagne et en Slovaquie. C'est aussi le cas en Finlande, où la prolongation par l'État des permis d'opération des réacteurs est conditionnée à la fourniture d'un rapport sur la sécurité d'approvisionnements par leurs exploitants.

En théorie, l'article 52 paragraphe 1 du traité établissant la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) institue les bases légales d'une politique commune d'approvisionnement en uranium pour les pays de l'UE. **En pratique**, ces règles n'ont jamais été entièrement appliquées. Euratom dispose de trois outils :

- **Le droit exclusif de conclure les contrats d'approvisionnement** (Article 52). À ce titre, seule l'Agence d'Approvisionnement d'Euratom (ESA) peut signer les contrats d'achat entre un exploitant de réacteur en Europe et un producteur d'uranium en dehors de l'UE. L'ESA peut également refuser de signer ou imposer des conditions aux contrats s'ils devaient compromettre la sécurité d'approvisionnement de l'UE. Pour des contrats de plus de 10 ans, l'autorisation de la Commission européenne est également requise (Article 60).
- **Le droit d'option** (Article 57) permet à Euratom d'avoir la pleine propriété de tous les minerais produits au sein de la communauté.
- **Le droit de constituer des stocks commerciaux et de sécurité d'uranium** (Article 72).

Euratom n'a jamais utilisé son droit d'option ni constitué d'inventaire, tandis que le droit exclusif de conclure des contrats a été largement limité. D'une part, il n'y a aucune conséquence légale si l'exploitant d'un réacteur devait passer un contrat sans l'aval de Euratom. D'autre part, l'ESA a institué des procédures simplifiées où l'Agence n'intervient qu'après la négociation entre fournisseurs et acheteurs d'uranium.

La relation avec la Russie est symptomatique de l'incapacité d'Euratom à imposer une politique commune. En 1994, les pays de l'UE se sont entendus dans la Déclaration de Corfou sur l'objectif de limiter à 20 % la part de la Russie dans les importations de combustible nucléaire. Toutefois, ce texte n'est pas un acte législatif, mais une simple déclaration politique à laquelle l'ESA peut se référer, sans avoir de pouvoir coercitif. De plus, le seuil de 20 % est sujet à interprétation. L'approche stricte considère que cette limite doit s'appliquer à chaque pays de façon individuelle. Une approche moins stricte consiste à la considérer comme une moyenne à l'échelle d'Euratom, autorisant certains pays à importer davantage depuis la Russie si d'autres ne consomment pas leur quota. Historiquement, l'ESA a privilégié cette interprétation.

3. Rééquilibrer les piliers de la stratégie chinoise des trois tiers

La Chine devrait dépasser les États-Unis à la fin de la décennie pour devenir le premier consommateur mondial d'uranium. La demande chinoise, estimée à 13 132 en 2024¹⁴⁷, pourrait atteindre 22 600 tU dès 2030 et 43 000 tU en 2040. La Chine poursuit une stratégie agressive de constitution de stocks d'uranium naturel conservés à Hengyang (Hunan)¹⁴⁸. La comparaison entre la demande d'une part, et la production nationale et les importations d'autre part permet d'estimer ces inventaires à dix années de consommation¹⁴⁹. Les données douanières montrent que la Chine a continué d'importer entre 1000 et 5000 tonnes de plus qu'elle ne consomme ces quatre dernières années.

Pour assurer son approvisionnement, l'administration chinoise a institué la stratégie dite des « quatre piliers » (四位一体), aussi connue sous le nom de « trois tiers », reposant sur l'exploitation des ressources nationales, l'investissement dans des gisements à l'étranger, l'achat sur le marché et la constitution de stock¹⁵⁰. Cependant, cette stratégie relève davantage du slogan que de la réalité. **La production en Chine était estimée à 1700 tU en**

¹⁴⁷ World Nuclear Association, « China's Nuclear Fuel Cycle », <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle> (page consultée le 25 novembre 2024)

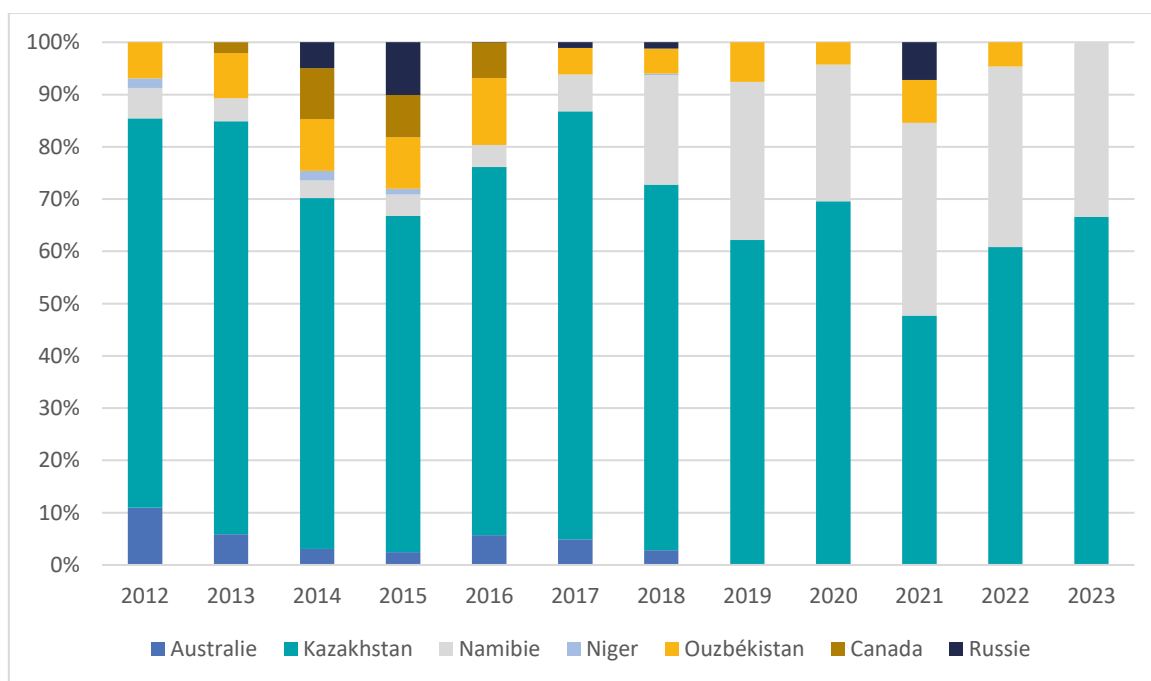
¹⁴⁸ Melissa Hanham et al., « Monitoring Uranium Mining and Milling in China and North Korea through Remote Sensing Imagery », James Martin Center for Nonproliferation Studies, 2018.

¹⁴⁹ IAEA, *Global Inventories of Secondary Uranium Supplies. IAEA Tecdoc Series*, (Vienna: IAEA, 2023).

¹⁵⁰ Yanliang Pan, « To Secure Kazakhstan's Uranium, Chinese Players Were Compelled to Accommodate Local Partners », *Carnegie Endowment*, 26 mars 2024.

2022, ne répondant qu'à 13 % de ses besoins nationaux¹⁵¹. Le pays compte six sites d'extraction, le plus grand à Yining dans le Xinjiang est responsable de la moitié de la production, suivie par Fuzhou dans le Jiangxi (350 tU/an), Shaoguan dans le Guangdong (200 tU), Tongliao en Mongolie intérieure (200 tU) et deux mines plus anciennes (Lantian et Chongyi) à l'arrêt¹⁵². Bien que l'accélération de l'exploration ait augmenté d'un tiers les réserves connues d'uranium ces dix dernières années, les gisements chinois restent de mauvaise qualité. Les investissements se concentrent d'abord sur les bassins plus rentables de Mongolie Intérieure et en particulier à Ordos, où CNNC a démarré en juillet 2024 le développement de ce qui devrait devenir la plus grande mine du pays.

Figure 10 : Provenance des importations d'uranium naturel en Chine



Source : UN Comtrade (Code douanier HS 284410 : Natural uranium and its compounds)

Près de 88 % de la consommation chinoise est importée. Les données douanières montrent un resserrement des importations autour du Kazakhstan et de la Namibie. Ces flux relèvent de stratégies d'achat sur les marchés de l'uranium, et d'acquisitions de gisements à l'étranger. L'industrie chinoise investit d'abord au Kazakhstan en 2008, puis à Arlit au Niger en 2010 ainsi qu'en Namibie à Husab en 2012 et Langer Heinrich en 2014. D'autres investissements réalisés

¹⁵¹ World Nuclear Association, « China's Nuclear Fuel Cycle », *op cit.*

¹⁵² NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

sur la même période en Ouzbékistan, au Canada, en Mongolie et en Russie n'ont pas abouti, tout comme les prospections en Jordanie, au Soudan et en Arabie Saoudite. **L'acquisition de parts dans les gisements étrangers représente un volume annuel de 7553 tU**, dont 80 % viennent de Namibie. Cette internationalisation est aussi une conséquence des tensions internes à la filière nucléaire chinoise. Face au monopole de CNNC sur la production de combustible à l'intérieur de la Chine, CGN a été obligée d'investir à l'étranger pour gagner en indépendance. **Le reste des importations provient d'achats sur le marché de l'uranium**. Si des contrats ont été signés par CNNC avec Cameco et Orano, ces livraisons sont faites depuis leurs mines kazakhes. Le poids du Kazakhstan dans l'approvisionnement chinois devrait encore augmenter. D'une part, CNNC a signé en novembre 2024 un contrat d'approvisionnement qui, si les volumes ne sont pas connus, correspond à plus de 2,5 milliards de dollars¹⁵³. D'autre part, la construction du site de stockage au poste-frontière sino-kazakh d'Alashankou pérennisera ces flux (voir partie 1).

4. En Russie, sécuriser les approvisionnements pour continuer d'exporter

L'approvisionnement en uranium naturel constitue le principal point de faiblesse de l'industrie nucléaire russe. **Pour son propre parc, la Russie consomme 5 430 tU**. À ce volume, il faut ajouter le minerai nécessaire pour honorer les contrats de fourniture à vie en combustible que Rosatom adjoint à l'exportation de ses réacteurs. **Si l'on ne prend en considération que ceux signés avec le Bélarus, le Bangladesh, l'Égypte, la Turquie, l'Inde, la Hongrie et l'Arménie, il faut ajouter 4 680 tU**. C'est sans compter les contrats avec la Chine, dont il est difficile d'établir les volumes. En moyenne, la vente d'un réacteur à l'étranger comprenant la fourniture du combustible ajoute 180 tU aux besoins russes. Au total, le cabinet UxC considère que la Russie consomme **près de 13 000 tU par an**.

Or, **la production russe est très largement insuffisante**. En 2023, AtomRedMetZoloto (ARMZ), la filiale de Rosatom responsable des mines d'uranium en Russie **ne produisait que 2 710 tU¹⁵⁴, soit 20 % des besoins de la Russie**. Ces extractions se font sur trois sites, Dalur (Oural), Khiagda (Bouriatie) et Priargunsky (PICMU) en Transbaïkalie. Si la Russie dispose de 8 % des

¹⁵³ « Notice of Extraordinary General Meeting of Shareholders of Kazatomprom », Kazatomprom, 15 novembre 2024.

¹⁵⁴ ARMZ, « Performance of the mining division », 2023.

ressources mondiales, leur nature géologique et leur dispersion géographique renchérissent les coûts d'extraction. Pour soutenir son activité, Rosatom a développé l'extraction de co-produits, dont l'or et les terres rares, et recherché des financements étrangers. En 2018, la China Investment Corporation, un fonds souverain chinois, investissait avec ARMZ pour l'ouverture d'une nouvelle mine à PIMCU, toujours en travaux en 2024. Les espoirs de Rosatom se portent sur l'ouverture du gisement d'Elkon (Yakutie), suspendu en 2017 faute de rentabilité, dont la mise en production ne devrait pas commencer avant 2035 avec une capacité annuelle de 2 000 tU¹⁵⁵.

Les importations répondent à un tiers des besoins de Rosatom. Le groupe, *via* sa filiale Uranium One, ne possède de gisements à l'étranger qu'au Kazakhstan, fournissant 4557 tU en 2023. Les autres projets – en Namibie, Mongolie, Arménie, Mozambique et en Égypte – n'ont pas été poursuivis. Seul celui de Mkuju River, en Tanzanie, a été relancé en 2023 (voir partie 2). Entre 2012 et 2019, 56 % de l'uranium naturel importé en Russie venait du Kazakhstan, 20 % des États-Unis¹⁵⁶, 15 % d'Ukraine, 4 % du Canada, 2,5 % de Tchéquie et 1 % du Niger¹⁵⁷. L'absence de données douanières depuis 2019 ne permet pas d'identifier d'autres achats.

Près d'un tiers de l'approvisionnement de Rosatom en uranium naturel provient de l'optimisation des surcapacités de ses usines d'enrichissement. D'une part, elles lui permettent de faire de l'*underfeeding*, c'est-à-dire de mobiliser plus longuement ses centrifugeuses pour produire un même volume d'uranium enrichi, mais en utilisant moins d'uranium naturel en entrée. D'autre part, Rosatom utilise ces surcapacités pour « créer » de l'uranium naturel, en réenrichissant de l'uranium appauvri afin d'augmenter son taux d'²³⁵U à un niveau semblable à celui de l'uranium naturel. **Il est probable que Rosatom intensifie ces stratégies dans les années à venir, l'arrêt des contrats d'approvisionnement en Europe et aux États-Unis libérant des capacités d'enrichissement en Russie.**

¹⁵⁵ « Uranium reserves at promising Elkon field to suffice for 100 years », TASS, 13 novembre 2023.

¹⁵⁶ En plus d'achat par Rosatom pour ses propres besoins, ces volumes peuvent correspondre à l'uranium extrait aux États-Unis et envoyé par des exploitants états-uniens de réacteurs en Russie pour y être enrichi avant d'être réexpédié outre-Atlantique pour y être assemblé. Ils reflètent aussi la pratique dite des *Return Feed*.

¹⁵⁷ UN Comtrade (Code douanier HS 284410 : Natural uranium and its compounds).

5. En Inde, les besoins grandissants de l'Atmanirbhar Bharat

En Inde, l'approvisionnement en uranium naturel constitue un enjeu tant quantitatif que qualitatif. En 2024, le parc nucléaire consommait 1725 tU, une demande qui atteindra 2600 tU quand les six réacteurs en cours de construction auront démarré. La Nuclear Power Corporation of India (NPCIL) envisage d'installer 8 GWe supplémentaires après 2030, ce qui représenterait une demande totale de 3880 tU. De ce volume, il faut retrancher les approvisionnements assurés à vie par Rosatom pour les six réacteurs de Kudankulam, soit environ 1000 tU. **Durant les années 2000, le manque d'uranium a forcé la NPCIL à baisser la production de ses réacteurs.** Au plus bas en 2008, l'Inde n'utilisait son parc qu'à la moitié de ses capacités. Le pays n'a stabilisé son facteur de charge au niveau de la moyenne mondiale (environ 80 %) qu'à partir de 2019¹⁵⁸. Ces difficultés relevaient d'abord de sanctions prises par certains exportateurs contre l'Inde en raison de son refus d'intégrer le Traité de Non-Prolifération. Il faudra attendre la signature des accords de garanties entre l'AIEA et l'Inde en 2009 pour que la NPCIL puisse accéder plus facilement au marché. **Si les années de pénuries sont révolues, les choix politiques indiens contraignent toujours son approvisionnement.**

Premièrement, les accords de garantie signés avec l'AIEA ne couvrent que onze des vingt réacteurs opérationnels en Inde en 2024. **Ce choix oblige NPCIL à obtenir de l'uranium auquel aucune « obligation » d'exploitation dans des réacteurs sous garantie n'a été imposée par l'exportateur** (voir annexe 7). Les neuf réacteurs non couverts représentent 30 % de la demande indienne.

Deuxièmement, la campagne de l'*Atmanirbhar Bharat* (Inde Autosuffisante) à partir de 2020 a donné un nouveau souffle à la stratégie nucléaire dite des « trois étapes ». Ce plan vise à sécuriser l'indépendance énergétique de l'Inde en mobilisant ses ressources en thorium. Le thorium n'est pas un élément fissile, mais fertile, et ne peut être utilisé qu'en association avec d'autres matières. Une possibilité est d'utiliser de l'²³³U, lui-même obtenu par l'irradiation de thorium. La stratégie indienne repose alors sur trois étapes. Dans une première phase, l'Inde utiliserait ses réacteurs à uranium naturel pour produire du plutonium grâce au retraitement de combustible usé. Ce plutonium servirait, dans une deuxième phase, à alimenter des

¹⁵⁸ NPCIL, « 37th Annual reports 2023-24 », 2024.

https://www.npcil.nic.in/WriteReadData/userfiles/file/Annual_Report_2023_2024_26082024_01.pdf

réacteurs surgénérateurs, dans lesquels serait introduit du thorium pour produire de l' ^{233}U . Après en avoir généré assez, l'Inde passerait à sa troisième phase en utilisant des combustibles thorium- ^{233}U . **Toute cette stratégie repose sur la capacité de l'Inde à obtenir assez de plutonium par retraitement des combustibles.** Or, aucune des usines de retraitement du pays n'est placée sous les garanties de l'AIEA, entrant en contradiction avec les obligations imposées par les vendeurs d'uranium. Moins regardante, la Russie a inclus une clause autorisant l'Inde à retraiter le combustible fourni dans le contrat de vente des réacteurs de Kudankulam.

L'industrie nationale est loin de pouvoir répondre à ces besoins. La production indienne n'était que de 600 tU en 2023, soit un tiers des besoins totaux et à peine de quoi subvenir à la demande des réacteurs non couverts par l'AIEA. Ses gisements sont de très faible teneur et impossibles à exploiter en ISL (voir annexe 3). L'Uranium Corporation of India (UCIL) opérait en 2024 sept mines dans le Jharkhand et en Andhra Pradesh. Alors que leurs réserves diminuent rapidement, les projets d'autres exploitations se heurtent à des difficultés économiques et techniques, ne laissant pas entrevoir d'augmentation de capacités à moyen terme. **L'Inde reste donc dépendante de fournisseurs étrangers,** afin de conserver sa propre production pour alimenter ses réacteurs non couverts par l'AIEA. De 2019 à 2022, ces importations venaient à 60 % du Kazakhstan et 40 % du Canada¹⁵⁹. Depuis peu s'ajoute l'Ouzbékistan, qui a réalisé en 2023 la première livraison d'un contrat d'un total de 1100 tU allant jusqu'en 2026¹⁶⁰.

La production d'uranium en Inde se fait dans un contexte sécuritaire dégradé. En 2022, deux ressortissants indiens étaient arrêtés au Népal après avoir essayé de vendre de l'uranium. L'année précédente, la police indienne avait arrêté une personne essayant de vendre 7 kg de minerai. Depuis le début des années 2000, on dénombre 13 cas connus de tentatives de contrebandes d'uranium en Inde¹⁶¹. Ces incidents révèlent les brèches dans le système de comptabilité des matières radioactives en Inde, auxquelles s'ajoute l'absence d'une autorité

¹⁵⁹ « Indian minister provides uranium updates », World Nuclear News, 5 avril 2022.

¹⁶⁰ UN Comtrade (Code douanier HS 284410 : Natural uranium and its compounds).

¹⁶¹ Pairman Bazai, « The Danger Inside: World's Deafening Silence and India's Uranium Black Market », *Strafasia*, 21 mars 2024.

de sûreté indépendante, favorisant la corruption d'employés dans les sites nucléaires du pays¹⁶².

6. Que retenir ?

- Les **États-Unis** ont pour objectif de tripler leur capacité nucléaire à horizon 2050. De ce fait, l'extraction d'uranium sur le sol national est dans une dynamique de relance, notamment par ISL. Cette relance est soutenue par des politiques fédérales de constitution de stocks, de subventions pour les réacteurs nucléaires en difficulté financière, et d'augmentation des droits de douane sur l'uranium enrichi provenant de Chine. Le retour de Donald Trump pourrait également avoir un impact sur la filière.
- Anticipant des contraintes d'approvisionnement, les pays nucléarisés de l'**UE** sont dans une dynamique de constitution de stocks, dans un contexte géopolitique tendu et en perte de diversification d'approvisionnement. Malgré l'existence de l'agence européenne Euratom, les stratégies des différents pays de l'union restent peu coordonnées.
- La **Chine** devrait devenir le premier consommateur d'uranium d'ici la fin de la décennie, dépassant 40 000 tU/an en 2040. La stratégie chinoise dite des « trois tiers » repose sur l'exploitation des ressources nationales, l'investissement à l'étranger, et l'achat sur les marchés internationaux. Dans les faits, la production chinoise ne satisfaisait que 13 % des besoins du pays en 2022, le reste provenant d'importations du Kazakhstan et de Namibie. Pour satisfaire l'augmentation de ses besoins futurs en uranium, la Chine augmente et diversifie ses investissements à l'étranger.
- L'approvisionnement en uranium naturel constitue le principal point de faiblesse de l'industrie nucléaire de la **Russie**. Pour pallier ce problème, le pays importe de l'uranium du Kazakhstan et optimise l'utilisation de ses surcapacités d'enrichissement.
- En raison de son refus d'intégrer le Traité de Non-Prolifération, l'**Inde** fait face à des contraintes d'approvisionnement en uranium, ce qui, par le passé, l'a obligé à diminuer l'utilisation de son parc nucléaire. De plus, des accords partiels signés avec l'AIEA, ainsi que l'ambition du pays de développer des réacteurs fonctionnant au thorium compliquent d'autant plus l'approvisionnement de l'Inde en uranium naturel.

¹⁶² Sitara Noor, « India's Radioactive Bazaar », *The Diplomat*, 12 mars 2022.



CONCLUSION

Allons-nous vers une reconfiguration spatiale du marché de l'uranium ?

La hausse des cours de l'uranium rend effectivement concevable l'exploitation de nouveaux territoires jusqu'ici délaissés par manque de rentabilité. Parmi les pays les plus prometteurs : le Brésil, la Mongolie, la Tanzanie et dans une moindre mesure le Kirghizistan. Ces quatre pays multiplient les changements réglementaires, les explorations et les politiques incitatives dans le but de lancer – ou relancer – des exploitations d'uranium. Cependant, des doutes persistent encore sur la pérennité des projets entrepris, qui vont dépendre du contexte intérieur de chaque pays et de la pérennité des cours élevés de l'uranium, ainsi que sur la participation d'entreprises russes ou chinoises. Notamment en Mongolie, où les divisions politiques et la forte influence russe et chinoise pourraient être des freins au projet français de Zuuvch Owoo. Nous assistons malgré tout à une reconfiguration des routes d'approvisionnement en provenance des producteurs d'Asie centrale, notamment du Kazakhstan, qui cherche à trouver une alternative au transit de ses marchandises par la Russie, tout en se rapprochant de la Chine, afin de sécuriser ses exportations et renforcer sa collaboration avec cette dernière.

Comment les producteurs historiques s'adaptent-ils à la compétition croissante sur l'accès aux réserves d'uranium ?

Pour répondre à l'augmentation de la demande en uranium, les producteurs historiques s'engagent d'abord dans une amélioration des infrastructures qui aujourd'hui freinent leur montée en capacité. Pour le Kazakhstan, dont la place de premier producteur mondial occupée depuis vingt ans n'est pas menacée, il s'agit d'assurer l'apport en acide sulfurique, intrant fondamental pour l'extraction par ISL. Du côté de la Namibie, où la production est presque entièrement contrôlée par la Chine, le but est d'améliorer l'approvisionnement des mines en eau, nécessaire pour augmenter l'extraction, alors que le pays traverse une des plus grandes sécheresses qu'il ait connues. Dans cet intervalle, la hausse des cours profite d'abord au Canada, permettant la relance des mines mises en sommeil ainsi que le développement de nouveaux projets dans le bassin de l'Athabasca. L'Ouzbékistan, qui vise à tripler sa production en 15 ans, espère copier le modèle kazakh en invitant des entreprises étrangères à s'associer avec l'entreprise publique Navoiyuran. Il reste enfin deux inconnus à moyen terme. D'un côté, l'exploitation des réserves australiennes reste limitée par l'instabilité du contexte réglementaire, sans changement assuré. De l'autre, l'accès aux exploitations du Niger, bien

que relativement marginale à l'échelle mondiale, apparaît de plus en plus incertaine après le coup d'État de l'été 2023.

Comment les pays producteurs révisent-ils leur stratégie d'approvisionnement ?

Pour les importateurs, il s'agit d'abord de répondre aux demandes grandissantes de contrepartie des pays producteurs. Au Kazakhstan comme en Namibie, la Chine a su s'attirer les faveurs des gouvernements locaux en les intégrant dans la chaîne de valeur de la fabrication du combustible et en leur concédant un contrôle politique partiel sur les gisements. Pour Pékin, dont les ressources nationales ne permettent ni d'alimenter le parc nucléaire actuel, ni de soutenir sa croissance, cette approche est fondamentale pour s'assurer le contrôle de gisements étrangers. Mais cette stratégie met à mal la Russie, qui, comme la Chine, ne dispose pas de ressources suffisantes à l'intérieur de ses frontières. Pour Rosatom, l'approvisionnement en uranium est crucial pour continuer d'assurer les clauses de fourniture en combustible à vie qui appuie ses ventes de réacteurs à l'étranger. Or, le groupe a déjà subi un revers en Namibie, où le gouvernement a stoppé ses projets, et ses investissements au Kazakhstan commencent à éveiller des oppositions. L'optimisation des sources secondaires d'uranium devient incontournable pour la Russie. Face à ces deux pays, dont la croissance des parcs nucléaires accaparera une part grandissante de l'uranium à l'avenir, les États-Unis se focalisent d'abord sur la réouverture des exploitations à l'intérieur de leurs frontières. Mais le soutien fédéral, issu d'un compromis bipartisan minimal, apparaît loin d'être suffisant pour y parvenir. De l'autre côté de l'Atlantique, les divisions internes empêchent aussi l'Union européenne de formuler une politique commune d'approvisionnement en uranium, bien qu'elle dispose de tous les outils légaux pour le faire. Cette situation laisse chaque pays traiter individuellement avec les fournisseurs, quitte à affaiblir leur position.



ANNEXES

Annexe 1 : Stocks d'uranium estimés

		Uranium naturel	Uranium enrichi	Uranium assemblé
Afrique et Moyen-Orient	Volumes (en tonne)	0	5	338
	Couverture annuelle (brute*)	0,00	0,00	1,60
Eurasie	Volumes (en tonne)	14 943	281	502
	Couverture annuelle (brute*)	2,40	0,40	0,60
Europe	Volumes (en tonne)	50 918	3 879	2 424
	Couverture annuelle (brute*)	2,90	1,70	1,00
Amérique du Nord	Volumes (en tonne)	56 497	2 670	1 605
	Couverture annuelle (brute*)	2,90	1,20	0,40
Amérique du Sud	Volumes (en tonne)	1 278	44	346
	Couverture annuelle (brute*)	1,10	0,60	1,30
Asie du Sud et de l'Est	Volumes (en tonne)	200 679	4 176	4 297
	Couverture annuelle (brute*)	10,80	2,20	1,50
République populaire de Chine	Volumes (en tonne)	132 500	906	1 215

Source : IAEA, « Global Inventories of Secondary Uranium Supplies », IAEA Tecdoc Series 2030 (2023)

Annexe 2 : Réouverture de mines d'uranium dans le sillage de la hausse des prix

Pays	Mines	Statut	Reprise des activités
Canada	McArthur River /Key Lake	Relancée	2022
Namibie	Lost creek	Relancée	2023
Australie	Honeymoon	Relancée	2024
États-Unis	Langer Heinrich	Relancée	2024
États-Unis	Willow Creek	Relancée	2024
États-Unis	Alta Mesa	Relancée	2024

Malawi	Kayelekera	En relance	2025
États-Unis	McClellan Lake	En relance	2025
États-Unis	Kayleker	En relance	2025
États-Unis	Nichols Ranch	En relance	2025
États-Unis	Azelik-Abokurum	En relance	Non communiqué

Annexe 3 : Rappel des méthodes d'extraction de l'uranium et les enjeux environnementaux

Plusieurs techniques permettent d'extraire de l'uranium. Différentes approches existent pour garantir la rentabilité des projets selon les configurations géologiques. Un choix à faire en fonction des différents impacts possibles sur l'environnement, comme l'occupation des sols, la libération de métaux lourds (Ex : arsenic), d'effluents toxiques (Ex : acide sulfurique) ou de substances radioactives dans l'eau et l'air (Ex : radon, thorium) ¹⁶³ ; ¹⁶⁴.

Les mines souterraines

Les mines souterraines permettent d'accéder aux gisements les plus concentrés situés à plus de 100 mètres de profondeur. Le minerai est extrait par des concasseurs ou des jets d'eau pressurisés, avant d'être remontés par convoyeur, ou sous forme de pulpe¹⁶⁵ dans des conduites sous pression¹⁶⁶; ¹⁶⁷. Sans être dénuée de risques chimiques ou radiologiques pour les écosystèmes avoisinants, cette approche a l'avantage de limiter l'occupation des sols et les dépôts en surface¹⁶⁸; ¹⁶⁹. Elle est cependant complexe et chère à déployer, elle donc privilégiée pour les gisements profonds et fortement concentrés en oxyde d'uranium (U_3O_8)¹⁷⁰, notamment au Canada, à Cigar Lake et McArthur River, où les taux de concentration avoisinent les 20 % d' U_3O_8 , contre 0,1 % en moyenne¹⁷¹.

¹⁶³ D.C. Seidel, « Extracting uranium from its ores », IAEA bulletin, Vol.23, No.2 (1981).

¹⁶⁴ Peter Diehl, « Uranium Mining and Milling Wastes », WISE Uranium Project <https://shorturl.re/7fujh> (page consultée le 29 octobre 2024)

¹⁶⁵ Mélange d'eau et de minerai broyé.

¹⁶⁶ Encyclopedie Énergie, « Exploitation de l'uranium », <https://urlz.fr/sPPj> (page consultée le 29 octobre 2024)

¹⁶⁷ Orano Group, « Les différentes méthodes de production de minerai » <https://urlz.fr/sPq7>

¹⁶⁸ Les volumes restent de l'ordre de 40 tonnes de stérile par tonnes d'uranium concentré, sans compter les résidus radioactifs de plusieurs centaines de kilogrammes par kilo d'uranium concentré.

¹⁶⁹ Rochelle Radzysinski, « Environmental and Health Consequences of Uranium Mining », Stanford University (2021)

¹⁷⁰ Rémi Martino, Patrick McCann, Raj Kumar Ray, et Otto van der Ende, « Digging deeper: Trends in underground hard-rock mining for gold and base metals », *McKinsey & Company*, 13 juillet 2021.

¹⁷¹ Cameco, uranium 101, « Obtaining the Ore », <https://urlz.fr/sPXV>, (page consultée le 30 octobre 2024)

Les mines à ciel ouvert

Les mines à ciel ouvert sont préconisées lorsque le minerai se situe à une profondeur maximale de 100 à 150 mètres. Cette méthode est techniquement moins contraignante et plus rapide à déployer sur de grandes surfaces d'exploitation, ce qui permet de diminuer les coûts initiaux, tout en réalisant des économies d'échelle et devenir rentable à partir d'une concentration moyenne de 0,1 % d' U_3O_8 ¹⁷²; ¹⁷³. En revanche, elle génère une importante occupation des sols, avec une accumulation de résidus miniers en surface beaucoup plus importante. Malgré cet impact écologique plus important, les mines à ciel ouvert ont permis de valoriser des gisements peu concentrés, mais aux réserves non moins importantes, comme en Namibie – 3^e producteur mondial d'uranium – où la concentration des gisements de Husab et Rössing n'excède pas 0,06% d' U_3O_8 , bien que ces deux mines représentent 5,6 % de la production mondiale d' U_3O_8 en 2022¹⁷⁴.

La lixiviation in situ (ISL)

La lixiviation in situ consiste à injecter une solution acide ou alcaline dans le sol, pour dissoudre et récupérer par pompage l'uranium présent dans des roches poreuses ou des aquifères. Elle permet d'extraire l'uranium provenant de gisements profonds présentant de faibles teneurs, là où des extractions conventionnelles ne seraient pas rentables. Comparativement aux mines conventionnelles, cette technique nécessite peu de moyens et a un impact limité sur l'environnement, avec une occupation minimale des sols, une très faible production de stériles ou de résidus, avec cependant un risque localisé d'infiltration de solution uranique dans les aquifères. À partir des années 1990, elle a permis d'augmenter significativement les réserves mondiales accessibles à un coût inférieur à 40\$ par kilogramme d'uranium¹⁷⁵; ¹⁷⁶. Elle représentait 63 % de la production mondiale d'uranium en 2021, dont 95 % au Kazakhstan, premier producteur mondial¹⁷⁷.

¹⁷² Ibid.

¹⁷³ Gunhild von Oertzen, « Radiation Exposures at uranium Mines – What are the Risks ? », VO Consulting (2017)

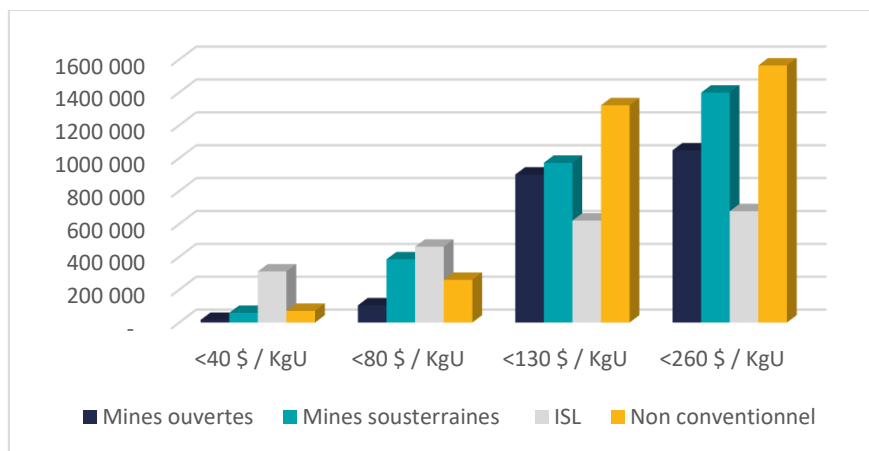
¹⁷⁴ World Nuclear Association, « World Uranium Mining Production », <https://urlz.fr/sQaY> (16 mai 2024)

¹⁷⁵ Guihe Li et Jia Yao, « A review of In Situ Leaching (ISL) for Uranium Mining », *Mining* 4, no. 1: 120-148.

¹⁷⁶ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

¹⁷⁷ World Nuclear Association, « In-Situ Leach Mining of Uranium », <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium> (page consultée le 27 octobre 2024)

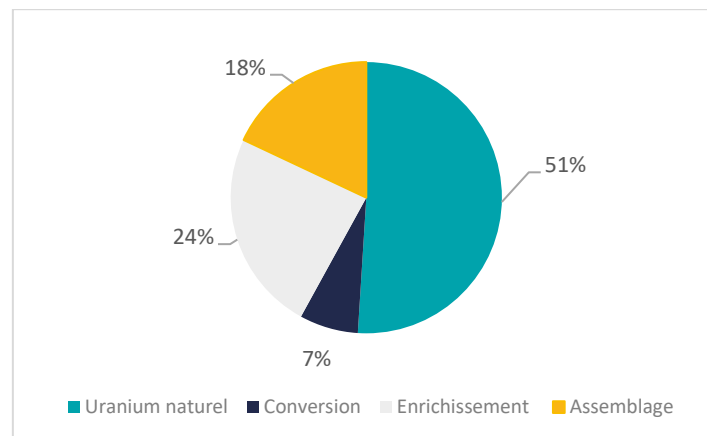
Figure 11 : Ressources récupérables raisonnablement assurées par méthode de production, en tonnes d'uranium



Source: OCDE, « Uranium 2022, Resources, Production and Demand » (2022)

Annexe 4 – Ventilation des coûts de fabrication du combustible nucléaire

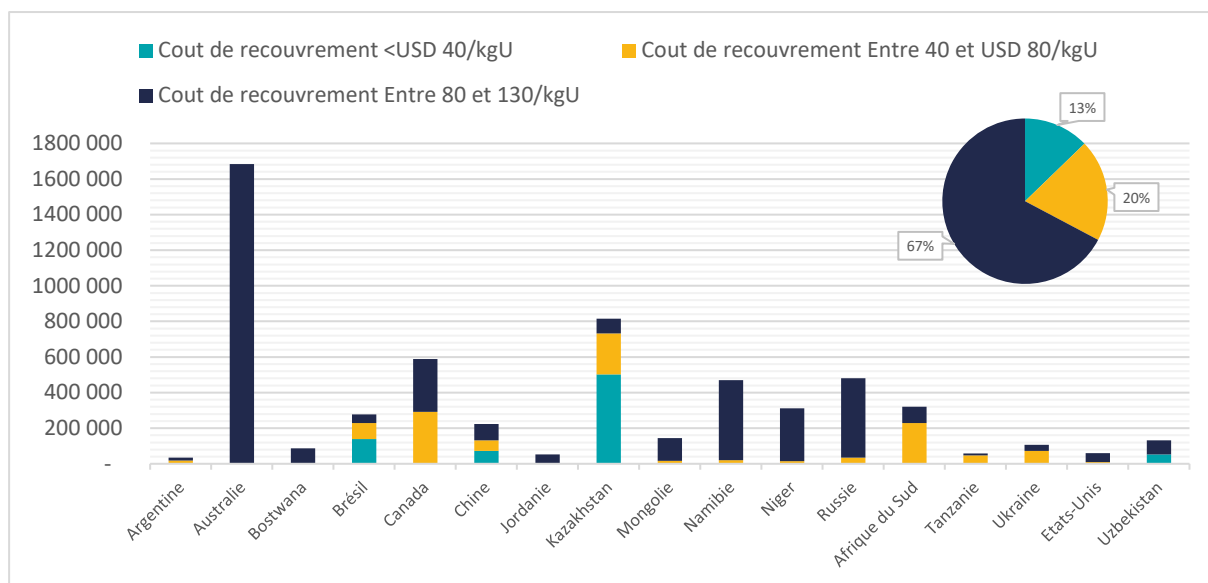
Figure 12 : Ventilation des coûts de fabrication du combustible nucléaire



Source: World Nuclear Association (29 septembre 2023)

Annexe 5 – Répartition des principales réserves prouvées d'uranium par pays et coût d'extraction

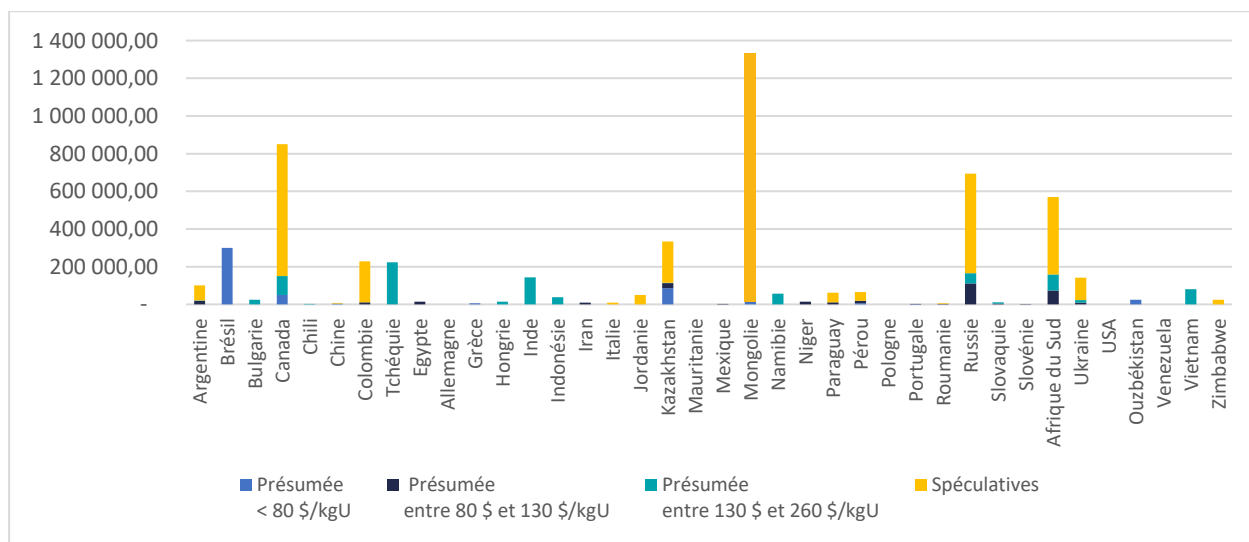
Figure 13 : Répartition des principales réserves prouvées d'uranium par pays et coût d'extraction



Les réserves prouvées les plus performantes économiquement sont essentiellement localisées au Kazakhstan (65 %), au Brésil (18 %), en Chine (9 %) et en Ouzbékistan (7 %), dont 81 % sont exploités par ISL.

Source: Red Book, « Uranium 2022, Resources, Production and Demand », IAEA, NEA (2022)

Annexe 6 – Répartition des principales réserves présumées et spéculatives d'uranium par pays et coût d'extraction



Source: Red Book, « Uranium 2022, Resources, Production and Demand », IAEA, NEA (2022)

Annexe 7 – Les SWAPs, une pratique pour fluidifier les échanges et contourner les obligations

Malgré le caractère indifférencié et standardisé de l'uranium, l'absence de législation internationale harmonisée sur les échanges reste un frein à leur fluidité. En effet, chaque pays est susceptible d'imposer des obligations différentes, selon la provenance et l'état de la matière arrivée sur territoire. Sachant que ces obligations dépendent pour partie de l'origine de la matière, qui peut elle-même être sujet à interprétations, selon que les autorités considèrent le site d'extraction, de conversion ou d'enrichissement comme point d'ancrage.

Afin de réduire cette complexité ainsi que les coûts associés au transport de l'uranium, les opérateurs peuvent avoir recours aux Swaps. Des contrats d'échange de flux financiers, qui, appliqués au domaine nucléaire, permettent à deux parties d'échanger la propriété, l'origine, et les obligations rattachées à deux quantités de matière équivalentes.

Cette pratique permet de contourner les contraintes posées par les divergences réglementaires entre pays en transférant les caractéristiques administratives susceptibles de rentrer en conflit avec une juridiction. Plus simplement, les swaps sont aussi un moyen de limiter les contraintes de transport, en échangeant des volumes selon leur proximité avec des sites de transformation ou de stockage.

Ces procédures sont permises avec l'accord des juridictions concernées, tant qu'elles ne contreviennent pas aux principes de non-prolifération et à la traçabilité des produits.

Source : WNA, « Swaps in the International Nuclear Fuel Market », 2015

Annexe 8 – Les alternatives à l'extraction de l'uranium

La domination de l'uranium comme combustible ne sera pas remise en cause à moyen terme. L'ensemble des 410 réacteurs commerciaux en exploitation dans le monde en septembre 2024 l'utilise. Il en va de même pour les 63 réacteurs en construction et la centaine d'autres planifiée¹⁷⁸. Enfin, des 115 modèles de réacteur en développement répertoriés par l'AEIA, 102

¹⁷⁸ IAEA, « Power Reactor Information System », <https://pris.iaea.org/>, (page consultée le 02 décembre 2024)

envisagent d'employer de l'uranium¹⁷⁹. L'extraction de minerai peut être complétée par cinq types de sources secondaires et de stratégies d'économie : [1] la dilution de l'uranium fortement enrichi (HEU) provenant du démantèlement de stocks militaires [2] le retraitement des combustibles usés [3] l'optimisation des usines d'enrichissement [4] l'amélioration des combustibles et [5] la réutilisation de l'uranium appauvri. Si la filière HEU a été importante à l'échelle mondiale à la fin de la guerre froide, elle est devenue anecdotique aujourd'hui¹⁸⁰.

Les politiques de retraitement des combustibles nucléaires

Le retraitement permet de récupérer les matières valorisables dans les combustibles usés, composés d'uranium (96 %), de plutonium (1 %) et de déchets non récupérables (3 %). La teneur en ²³⁵U de l'uranium de retraitement (URT) s'établit autour des 1 %, soit plus que l'uranium naturel (0,7 %). Depuis le début de l'industrie nucléaire, environ 30 % des 400 000 tonnes de combustibles utilisés ont été retraités. Pour autant, la majorité des matières récupérées a été stockée. **Leur réutilisation dépend de la qualité de la matière, de la disponibilité des usines de fabrication de nouveaux combustibles et de la possibilité des réacteurs de les accepter.**

Deux chemins de recyclage sont possibles. L'URT peut être à nouveau converti et enrichi pour faire des combustibles d'uranium de retraitement réenrichi (URE), tandis que le plutonium peut être combiné à de l'uranium appauvri pour produire des combustibles MOX. En 2020, ces filières ont permis d'économiser l'équivalent de 2210t d'uranium naturel, soit 3,5 % de la demande mondiale. Les flux entrants de combustibles usés constituent deux enjeux pour la faisabilité du retraitement. D'une part, plus un combustible passe de temps dans un réacteur, moins il devient intéressant de le recycler en raison de sa composition. D'autre part, le retraitement n'est possible que si l'État producteur de l'uranium naturel utilisé pour produire le combustible l'autorise. Ce point peut être particulièrement complexe si le combustible a été assemblé à partir de minerais provenant de plusieurs pays.

En 2024, seuls la France, la Chine, la Russie, l'Inde, les Pays-Bas et le Japon retraitsaient leurs combustibles usés, chez eux ou à l'étranger. La Grande-Bretagne a abandonné le retraitement

¹⁷⁹ IAEA, « Advanced Reactor Information System » <https://aris.iaea.org/> (page consultée le 02 décembre 2024)

¹⁸⁰ Teva Meyer, *L'approvisionnement en enrichissement de l'uranium : dynamiques et enjeux après l'invasion russe de l'Ukraine*, (Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, Paris : 2023).

en 2022 après la fermeture de l'usine de Sellafield pour des raisons économiques sans signe de retour en arrière. En 2023, c'est l'exploitant des réacteurs belges, Electrabel, qui renonçait au retraitement de ses combustibles réalisé à la Hague (France). L'Allemagne avait fait le même choix en 2005. **Aux États-Unis, les incertitudes politiques et légales ont limité tout investissement dans la filière.** Le moratoire sur le retraitement institué en 1977 par Washington, dans sa lutte contre la prolifération, a été annulé par Ronald Reagan en 1981. Depuis, tous les présidents démocrates se sont opposés aux politiques de retraitement, quand les républicains refusaient d'octroyer des subventions. Face à cette incertitude, les exploitants de réacteurs ont privilégié l'option du stockage direct des combustibles usés. **Mais des signes récents montrent une inflexion dans cette politique.** Les difficultés à trouver un site de stockage pour les déchets ultimes ont motivé la relance du financement de la recherche dès 2020. À l'été 2024, les républicains introduisaient le *Nuclear Waste Reprocessing Act* à la Chambre des Représentants comme signe politique en faveur du retraitement.

Seules la France, l'Inde et la Russie disposent de sites industriels de retraitement en 2024, pour des capacités estimées à 2000t par an à la Hague (France) 700t cumulées à Mayak et Krasnoïarsk (Russie), 200t cumulées à Tarapur et Kalpakkam (Inde). **La Chine étend ses capacités,** actuellement limitées à une usine pilote à Lanzhou, avec l'ouverture prévue en 2025 d'un site de 200t/an à Jinta (Gansu). L'analyse par l'International Panel on Fissile Materials d'images satellites et de contrats suggère qu'une deuxième usine de 200t/an y serait en construction¹⁸¹. Rosatom étend aussi ses sites, dont les capacités pourraient fournir 1500t/an additionnelles d'ici à 2028. Devant initialement ouvrir en 1997, **la mise en service de l'usine de Rokkasho au Japon, d'une capacité prévue de 800t/an, a près de 20 ans de retard** et ne devrait pas démarrer avant 2027.

En raison de sa composition isotopique, l'URT doit être converti et enrichi séparément de l'uranium naturel pour produire de l'URE, demandant de lui réserver des capacités industrielles dont la disponibilité est déjà tendue¹⁸². **Son utilisation relève d'abord d'un calcul coût-bénéfice.** Cette raison a mené Orano à arrêter de convertir l'URT en 2009. Rosatom est depuis le seul acteur à assurer cette activité. **Pour casser le monopole russe, le gouvernement**

¹⁸¹ Hui Zhang, « China Starts Construction of a second reprocessing plant », *IPFM Blog*, 28 mars 2021.

¹⁸² Teva Meyer, *L'approvisionnement en enrichissement de l'uranium : dynamiques et enjeux après l'invasion russe de l'Ukraine*, (Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, Paris : 2023).

britannique a alloué 15,9 millions de dollars à Westinghouse pour investir dans de nouvelles capacités en Grande-Bretagne incluant l'URT. Côté français, si la création d'une nouvelle installation dédiée à l'URT a été évoquée par le Conseil de Politique Nucléaire en mars 2024, toute décision est suspendue à la certitude de contrats rentabilisant l'investissement. Le réenrichissement est moins problématique. En plus de Rosatom, une partie des centrifugeuses du site néerlandais d'Urenco à Almelo sont dédiées à l'URE. L'usine George Besse II d'Orano est également capable de dédier 2 de ses 14 modules à l'URE si nécessaire.

Les stratégies URE et MOX des pays nucléarisés varient alors fortement :

- **Pour la Russie, l'utilisation des matières retraitées est fondamentale pour pallier son manque en uranium naturel.** L'URE lui permet d'alimenter presque entièrement ses 10 réacteurs RBMK, qui représentent un quart de la consommation d'uranium du parc de Rosatom. Au contraire, l'utilisation du MOX se cantonne au réacteur surgénérateur de Beloyarsk. Rosatom se concentre sur le développement d'un nouveau combustible issu du retraitement, le REMIX, destiné à ses 13 réacteurs VVER1000.
- **En France, l'objectif est d'intensifier l'utilisation des combustibles issus du retraitement afin de diminuer les stocks de matières.** En 2024, seuls les quatre réacteurs de la centrale du Cruas sont autorisés à utiliser de l'URE. EDF ambitionne d'alimenter 3 des 4 réacteurs entièrement avec ces combustibles d'ici à 2027, puis de faire autoriser tous les 20 réacteurs de 1300 MW à partir de 2030. Cette stratégie lancée en 2018 visait à réduire les stocks d'URT d'EDF, estimée à 25 000 t et augmentant de 1045 t par an, pour les vider entièrement d'ici à 2050. Pour y arriver, Framatome devra doubler la capacité de son usine d'assemblage des combustibles URE à Romans-sur-Isère. **Une fois déployée, elle permettrait d'économiser près de 1350 t d'uranium par an.** Toutefois, en l'absence de capacité de conversion de l'URE en Europe, cette approche repose sur Rosatom. EDF vise également à intensifier l'utilisation du MOX. En 2024, 22 des 24 réacteurs de 900 MW étaient alimentés simultanément par des combustibles traditionnels et MOX. L'objectif est d'accroître d'un tiers la part de MOX dans ces recharges. En prévision de l'arrêt de ces réacteurs, EDF envisage de moxer les réacteurs de 1300 MW d'ici à 2032. Cette stratégie reposera sur l'augmentation de la capacité de l'usine de fabrication de MOX Melox (Marcoule), de 195 t par an actuellement.

- **La Chine n'est qu'à ses débuts dans la réutilisation des matières issues du retraitement.** CNNC évalue la faisabilité d'utiliser de l'URT pour ses deux réacteurs à eau lourde de Qinshan. Comme en Russie, la Chine réserve le MOX à son surgénérateur de Gansu, pour lequel une usine de fabrication de combustible MOX devrait ouvrir en 2025.
- **En Inde, le retraitement permet également de répondre aux difficultés d'approvisionnement évoquées précédemment.** L'URT alimente partiellement les réacteurs à eau lourde indiens. Mais le retraitement est surtout fondamental pour la réalisation de la stratégie en « trois étapes »¹⁸³.
- **Au Japon, la stratégie ambitieuse d'utilisation du MOX cale.** L'usine de fabrication de combustible MOX de Rokkasho, dont la construction a commencé en 2010, ne devrait pas ouvrir avant 2027. L'objectif des exploitants japonais annoncé en 2020 de moxer 12 réacteurs d'ici à 2030 apparaît aussi difficile à réaliser, alors que seul 4 le sont aujourd'hui.

Des stratégies d'optimisation de l'enrichissement qui changent

Si elle ne crée pas des réserves d'uranium naturel, l'optimisation de l'enrichissement permet de sauvegarder du minerai. La production d'uranium enrichi (EUP) repose sur un calcul économique entre le coût de l'uranium naturel et de sa conversion en UF₆ d'un côté, et celui de l'enrichissement de l'autre. Pour produire un même volume d'EUP, l'enrichisseur peut jouer sur trois facteurs : le volume entrant d'uranium, l'effort d'enrichissement (indiqué en UTS) et la part d'²³⁵U restant dans l'uranium appauvri en sortie, appelé *tails*¹⁸⁴. Il peut fournir plus d'uranium en entrée afin d'économiser de l'enrichissement, produisant des *tails* avec une proportion plus haute d'²³⁵U en sortie, dans la stratégie dite d'*overfeeding*. Au contraire, en faisant de l'*underfeeding*, il peut choisir d'utiliser plus d'enrichissement pour économiser de l'uranium, produisant des *tails* présentant une teneur plus faible en ²³⁵U. Les gains de l'*underfeeding* ne sont pas linéaires. Chaque kilogramme d'uranium sauvegardé nécessite plus d'efforts d'enrichissement que le kilogramme précédent. **La NEA estime qu'un underfeeding**

¹⁸³ Voir partie « 5. En Inde, les besoins grandissants de l'Atmanirbhar Bharat ».

¹⁸⁴ Teva Meyer, *L'approvisionnement en enrichissement de l'uranium : dynamiques et enjeux après l'invasion russe de l'Ukraine*, (Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, Paris : 2023)

diminuant la part d'²³⁵U de 0,3 % à 0,25 % dans les tails permettrait de réduire de 10 % les besoins mondiaux en uranium, mais augmenterait de 11 % ceux en enrichissement.

Mais les conséquences de la guerre en Ukraine limitent l'underfeeding pour les acteurs occidentaux. D'une part, le coût de l'enrichissement a augmenté, passant de 60\$/UTS à 160\$/UTS entre janvier 2022 et janvier 2024, diminuant la rentabilité de cette stratégie¹⁸⁵. D'autre part, si les exploitants européens et états-uniens souhaitent réellement arrêter les contrats d'enrichissement avec Rosatom, qui détient 43 % des capacités mondiales, il sera nécessaire d'utiliser plus intensément les sites existants d'Orano et d'Urenco et donc de passer à l'*overfeeding*. Dans cette situation, l'Europe et les États-Unis devront mécaniquement acheter plus d'uranium naturel. **Inversement, la Russie pourrait profiter de cette situation pour intensifier sa stratégie d'underfeeding et économiser plus d'uranium naturel.** Avant l'invasion de l'Ukraine, Rosatom mobilisait déjà ses surcapacités d'enrichissement pour économiser de l'uranium naturel. Ainsi, la valeur en ²³⁵U des *tails* de Rosatom naviguait entre 0,1 % et 0,15 % en 2020, quand celle des contrats signés par les acteurs européens était proche de 0,2 %¹⁸⁶. La perte des contrats d'approvisionnement en combustibles en Europe et aux États-Unis augmenterait d'autant les capacités d'enrichissement disponibles pour l'underfeeding.

Développer de nouveaux combustibles pour améliorer la consommation d'uranium naturel

Les besoins en uranium naturel d'un réacteur dépendent de l'optimisation du taux de combustion (*burn-up*) de son combustible, mesuré en gigawatt-jour par tonne de combustible (GWj/t). Pour des raisons de sécurité, les combustibles actuels sont autorisés à fonctionner jusqu'à 62 GWj/t, mais le taux réel est souvent plus bas, proche des 45 GWj/t. **La NEA considère qu'une amélioration de 10 GWj pourrait faire baisser de 4 % à 5 % la demande d'uranium.**

Ces optimisations demandent le développement de nouveaux combustibles capables de soutenir des contraintes mécaniques, thermiques et de corrosion, appelé *Accident Tolerant Fuel* (ATF). L'ensemble des grands producteurs de combustibles occidentaux (GE,

¹⁸⁵ ESA, *Euratom Supply Agency Annual Report 2023*, (Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024)

¹⁸⁶ Ibid.

Westinghouse et Framatome) testent déjà ces assemblages en réacteurs et cherchent à obtenir les autorisations des régulateurs nationaux afin de monter jusqu'à 75 ou 80 GWj/t. Toutefois, **un plus haut burn-up demanderait d'augmenter le taux d'enrichissement** des combustibles au-delà des 5 % d' ^{235}U actuels, se heurtant à la disponibilité des centrifugeuses, mais aussi aux limites administratives pesant sur les usines d'enrichissement et de fabrication de combustible qui ne peuvent pas dépasser des taux 5 %.

Substituer l'uranium naturel par de l'uranium appauvri

L'enrichissement produit un flux d'uranium appauvri (DepU), dont la teneur en ^{235}U varie entre 0,1 % et 0,3 %. En moyenne, 870 kg d'uranium appauvri sont produits par l'enrichissement d'une tonne d'uranium naturel. Chaque année, entre 50 000 et 55 000 tonnes de DepU sont accumulées à l'échelle mondiale, s'ajoutant à un stock d'environ 2 millions de tonnes. Contractuellement, cette matière est la propriété de l'enrichisseur. Outre son stockage comme déchet, elle peut servir à produire du MOX, être réenrichi pour se substituer à de l'uranium naturel, permettre de diluer de l'uranium hautement enrichi (HEU) venu du démantèlement d'armes ou être utilisée dans des surgénérateurs.

S'ils devaient être enrichis, **les 330 000 t de DepU accumulé en 2024 par Orano en France représenteraient l'équivalent de 65 000 t d'uranium naturel, soit 8 années de consommation** du pays¹⁸⁷. Le DepU n'est pour le moment pas réenrichi par Orano, faute de rentabilité. Des estimations faites en 2017 considéraient que le DepU équivalait à de l'uranium naturel produit à 124 \$/kg d'uranium, alors que le coût de l'enrichissement était deux fois moins cher qu'aujourd'hui¹⁸⁸. La fabrication du MOX en France ne consomme annuellement que 100 t de DepU par an, soit dix fois moins que ce qu'Orano produit chaque année. Les stocks sont alors défluorurés et stockés sous forme U_3O_8 à Bessines (Haute-Vienne).

Aux États-Unis, le DepU sert à la politique de reconstruction de la filière nucléaire. Le DoE possède 765 000 t d'uranium appauvri, de qualité inégale, réparti à Paducah (Kentucky) et Portsmouth (Ohio) et correspondant à 90 000 t d'uranium naturel¹⁸⁹. Environ 8 % sont promis

¹⁸⁷ ANDRA, « Inventaire national des matières et déchets radioactifs », 2023 <https://www.andra.fr/sites/default/files/2023-12/Inventaire%20national%20-%20Rapport%20de%20synth%C3%A8se%202023.pdf>

¹⁸⁸ CEA, EDF, NewAREVA et SOLVAY, *Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Procédés de valorisation de matières radioactives de propriété. 2016-2018*

¹⁸⁹ NEA and IAEA, *Uranium 2022: Resources, Production and Demand*, (Paris: OECD/NEA Publishing, 2023).

au DoD pour diluer du HEU et produire les combustibles nécessaires à la fabrication de tritium pour son armement nucléaire. Près de 40 % ont été réservés pour aider au développement d'une nouvelle usine d'enrichissement par technologie laser de l'uranium par le groupe GLE, appartenant à 49 % à CAMECO et 51 % à l'Australien SILEX. GLE a acheté en 2024 les terrains nécessaires pour construire son site à Paducah et vise 2028 pour l'ouverture.

Le DepU permet à la Russie de répondre à ses faibles ressources en uranium naturel.

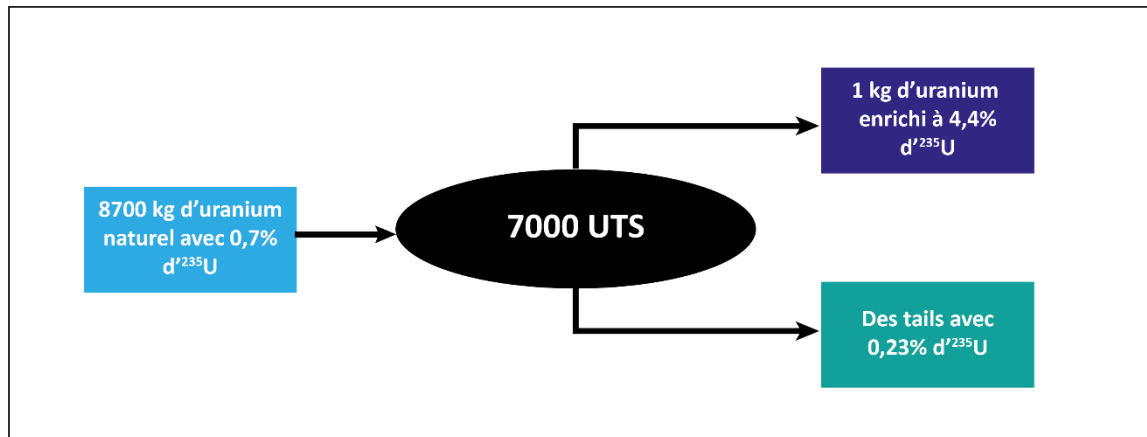
Rosatom disposerait de la moitié du stock mondial d'uranium appauvri, soit près d'un million de tonnes¹⁹⁰, largement accumulé grâce aux services d'enrichissement contractualisés par des exploitants étrangers de centrale. La qualité de ce DepU est toutefois très variable. Si certains *tails* datant de l'URSS ont encore de 0,3 à 0,4 % d'²³⁵U, ceux issus de l'underfeeding mis en place par Rosatom ces dernières années avoisinent les 0,1 % seulement, demandant un effort de réenrichissement d'autant plus important. Qui plus est, ce stock est pour partie encore plus faible puisqu'il est aussi en partie constitué de l'uranium appauvri restant du réenrichissement de DepU russe ou européen. **Depuis 2015, Rosatom utilise l'usine d'enrichissement d'Angarsk exclusivement pour enrichir du DepU à un niveau équivalent à l'uranium naturel**, une stratégie renforcée après la guerre en Ukraine.

Urenco conserve son uranium appauvri comme stock stratégique pour un éventuel réenrichissement. L'uranium appauvri produit à Almelo (Pays-Bas) est transféré à l'organisme public de gestion des déchets nucléaires (COVRA) et stocké à Borssele. La politique néerlandaise envisage toujours une possible réutilisation des 49 000 tonnes de DepU qui y sont stockées. En Angleterre, Urenco conserve la propriété du DepU produit à Capenhurst (Grande-Bretagne) où se trouveraient 88 000 tonnes de matière. En Allemagne, Urenco avait recommencé en 2020 l'exportation de DepU depuis son usine de Gronau vers la Russie pour être réenrichi. Si des premières livraisons ont eu lieu avant l'invasion de l'Ukraine, elles semblent avoir été arrêtées depuis. Urenco utilise déjà des quantités faibles de DepU (environ 1000 t/an) produit en Allemagne dans son enrichissement à Almelo. Le reste, environ 80 000 tonnes, est stocké sur place.

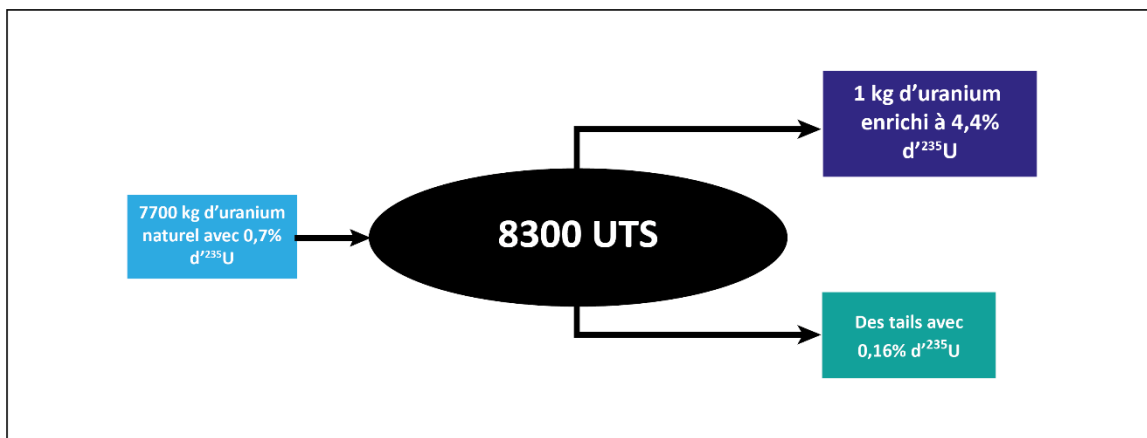
¹⁹⁰ Rosatom, « ОБЕДНЕННЫЙ ГЕКСАФТОРИД УРАНА », 2020 https://rosatom.ru/ogfu_report_2020.pdf

Annexe 9 : Schéma explicatif des stratégie d'Underfeeding et d'Overfeeding

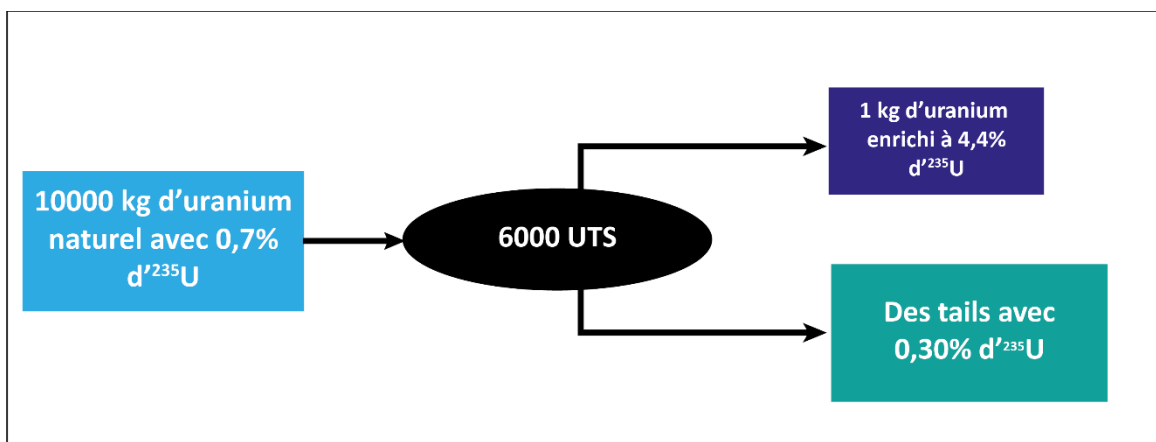
Dans une situation médiane



Dans une situation d'underfeeding



Dans une situation d'overfeeding



L'ANALYSE GÉOPOLITIQUE DES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES EN MATIÈRE DE DÉFENSE ET DE SÉCURITÉ

L'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques est coordonné par l'IRIS, en consortium avec Enerdata et Cassini, dans le cadre d'un contrat réalisé pour le compte de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées. Il est coordonné par Sami Ramdani, chercheur à l'IRIS, et rassemble une équipe d'une vingtaine de chercheurs et professionnels.



www.iris-france.org

