



Transferts de technologie : échanges de connaissances scientifiques et techniques sous influence géopolitique.

L'énergie nucléaire comme exemple de cette dynamique, et son
développement en Argentine.

**Francisco Rodrigo
CEBREROS**

Sous la direction de Mikaël CHAMBRU

UFR Langage, lettres et arts du spectacle, information et communication
Département Sciences de l'information et de la communication

Mémoire de master 2 CCST - 24 crédits

Parcours : Communication et culture scientifiques et techniques

Année universitaire 2024-2025

Transferts de technologie : échanges de connaissances scientifiques et techniques sous influence géopolitique.

L'énergie nucléaire comme exemple de cette dynamique, et son
développement en Argentine.

**Francisco Rodrigo
CEBREROS**

Sous la direction de Mikaël CHAMBRU

UFR Langage, lettres et arts du spectacle, information et communication
Département Sciences de l'information et de la communication

Mémoire de master 2 CCST - 24 crédits

Parcours : Communication et culture scientifiques et techniques

Année universitaire 2024-2025

Remerciements :

Un projet de mémoire peut être le début de quelque chose de beaucoup plus grand. Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont encouragé à poursuivre la recherche de mon projet de vie, où la science et la technologie commencent à jouer un rôle central.

Je remercie l'équipe du Master, les administratifs et les professeurs qui, à leur manière, ont permis que mon séjour à l'Université de Grenoble soit une expérience enrichissante et agréable. Également, je suis profondément reconnaissant envers le personnel de l'Institut Laue Langevin ainsi que ma tutrice de stage, Catarina Espirito Santo, qui m'ont offert l'opportunité d'apprendre et de m'immerger dans la communication scientifique au sein d'un environnement international de tout premier plan.

Je tiens aussi à remercier mes camarades de promotion CCST 2024-2025, dont la bienveillance et l'énergie ont fait des moments partagés une occasion de croissance dans la joie et la coopération. À cela, j'ajoute mes amis – Tomás Hüttebräucker y Daniel Zambrano - qui ont pris le temps de lire mes brouillons, de formuler des critiques constructives et de corriger ces pages qui aspirent à une suite.

Enfin, je remercie mon épouse, Becky, pour son soutien indéfectible, sa présence constante et son amour.

DÉCLARATION ANTI-PLAGIAT

1. Ce travail est le fruit d'un travail personnel et constitue un document original.
2. Je sais que prétendre être l'auteur d'un travail écrit par une autre personne est une pratique sévèrement sanctionnée par la loi.
3. Personne d'autre que moi n'a le droit de faire valoir ce travail, en totalité ou en partie, comme le sien.
4. Les propos repris mot à mot à d'autres auteurs figurent entre guillemets (citations).
5. Les écrits sur lesquels je m'appuie dans ce mémoire sont systématiquement référencés selon un système de renvoi bibliographique clair et précis.

PRENOM : FRANCISCO RODRIGO

NOM : CEBREROS

DATE : 01 / 05 / 2025

Sommaire

INTRODUCTION	6
1. Aspects clés du transfert de technologie : la technologie nucléaire comme illustration des dynamiques sous-jacentes	6
2. Problématique et hypothèses:.....	7
3. Outils conceptuels, méthodologiques et sources bibliographiques :	8
CHAPITRE 1. CONCEPTS ET DYNAMIQUES	10
1. Transfert de technologie et connaissances.....	10
2. Transfert de technologie et géopolitique.	15
CHAPITRE 2. LA TECHNOLOGIE NUCLEAIRE ET SES DYNAMIQUES DE TRANSFERT.	23
1. Brève histoire de la technologie nucléaire, restrictions sur l'échange de connaissances et contrôle international de leur transfert.	23
2. Assistance internationale pour l'utilisation de la technologie nucléaire dans le secteur civil et promotion de l'échange de connaissances.	33
3. L'énergie nucléaire, actualité et avenir. Les connaissances et la technique nucléaire au service de la lutte contre le changement climatique.	36
CHAPITRE 3. LE CAS DU DEVELOPPEMENT NUCLEAIRE EN ARGENTINE.	44
1. Histoire nucléaire de l'Argentine, l'échange de connaissances et les restrictions internationales comme moteur de développements technologiques propres.	44
2. Secteur nucléaire argentin, actualité et défis.	53
3. L'Argentine et son projet SMR, CAREM-25. L'avenir d'un projet pour l'autonomie technologique et l'opportunité de nouveaux marchés.	58
CONCLUSION	68
BIBLIOGRAPHIE.....	74
CITOGRAFIE :.....	76
GLOSSAIRE	79
SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES	80
TABLE DES ANNEXES	82
ANNEXE 1 LETTRE D'ALBERT EINSTEIN ET LEO SZILARD AU PRESIDENT DES ÉTATS-UNIS.FRANKLIN D. ROOSEVELT (2 AOUT 1939).....	83
ANNEXE 2 EXTRAITS DU DISCOURS DU PRESIDENT EISENHOWER A L'ASSEMBLEE GENERALE DES NATIONS UNIES (DECEMBRE 1953).....	85
ANNEXE 3 EXTRAITS DU STATUT DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (TEL QU'AMENDE AU 28 DECEMBRE 1989).....	89
Table des matières.....	91

Introduction

1. Aspects clés du transfert de technologie : la technologie nucléaire comme illustration des dynamiques sous-jacentes

« L'information est pouvoir » est une maxime bien connue, applicable à de nombreux secteurs tels que la finance, la politique, ou le sport. Mais dans ce cas l'information, de caractère éphémère et changeant, ne suffit pas à refléter toute la portée du sujet. C'est dans la connaissance que réside le véritable pouvoir, une connaissance qui s'accompagne du savoir-faire, permettant de créer et d'innover. En outre, ces échanges constituent un levier fondamental pour assurer un transfert efficace de technologie. Toutefois, ces échanges peuvent être influencés par divers intérêts qui imprègnent les relations entre États et leurs gouvernements. Le commerce et les dynamiques géopolitiques, à travers la promotion d'accords et de traités, facilitent les échanges technologiques dans de nombreux secteurs. Pourtant, certains domaines restent marqués par des restrictions strictes, dues à la concurrence commerciale, à l'hostilité entre nations ou à l'importance stratégique de certaines technologies. La technologie nucléaire et la production d'énergie à partir de celle-ci est un cas emblématique pour analyser la manière dont la géopolitique influe sur les échanges de connaissances, qu'il s'agisse de restrictions rigoureuses, d'intérêts économiques, de coopération ou de dépendance.

Les résultats des premières recherches sur l'atome, ainsi que le pouvoir contenu en son sein, furent initialement gardés dans le plus grand secret, notamment lorsque les premières théories sur la réaction en chaîne révélaient le pouvoir enfermé en lui. Les premières recherches furent d'abord appliquées dans le secteur militaire, avant de trouver leur utilité dans le domaine civil avec le développement de sources d'énergie et de réacteurs de recherche. Ces innovations contribuèrent à des avancées considérables dans les domaines de la santé, de l'industrie et de l'agriculture.

Les applications civiles ont promu des alliances et les échanges, établissant ainsi les bases pour le transfert de technologie nucléaire entre différents pays. Toutefois, dans le contexte de la guerre froide, ces alliances étaient dictées par des impératifs idéologiques et de sécurité. Avec le temps, les intérêts commerciaux et géostratégiques prendraient de l'importance, redéfinissant les modalités des échanges technologiques.

Dans le contexte actuel de lutte mondiale contre le changement climatique, les sources d'énergie à faible émission de carbone, s'imposent comme un pilier essentiel. Ainsi, le secteur

nucléaire semble connaître une revitalisation portée par un avenir où la consommation d'énergie de la société pourrait croître de manière exponentielle avec l'essor d'une culture de plus en plus numérique et une nécessité urgente de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les transferts de technologies vertes, ainsi que celles qui favorisent l'exploitation des énergies renouvelables, occupent une place centrale dans les discussions mondiales ayant abouti à des accords visant à répondre aux enjeux climatiques. Dans ce cadre, l'énergie d'origine nucléaire, et les projets SMR (*Small Modular Reactors*), apparaissent comme une solution viable face aux limites technologiques actuelles en matière d'exploitation des sources renouvelables. Cette dynamique a conduit à une évolution notable des discours politique, médiatique et entrepreneurial.

Les projets de réacteurs modulaires (SMR) sont en cours de développement dans différents pays, à des stades d'avancement variés. La plupart sont des prototypes qui n'ont pas encore été construits. Ce type de réacteur présente plusieurs avantages : rendre la production d'énergie nucléaire plus compétitive en termes d'investissement en infrastructure, permettre l'installation dans des zones éloignées sans dépendance de réseaux centralisés, et ajuster leur offre énergétique en fonction de la demande grâce à l'ajout progressif de nouveaux SMR. Pour ces raisons, ainsi que d'autres avantages qui seront développés par la suite, les SMR se positionnent comme une solution viable pour l'avenir, incitant de nombreux États et entreprises à investir dans ce domaine. Cela a engendré une compétition scientifique et technique où une fois encore, les intérêts géopolitiques influencent la circulation des connaissances, que ce soit par le biais d'accords de coopération, des partenariats ou des pressions internationales.

Le cas argentin est un sujet d'analyse pertinent pour examiner l'impact de ces dynamiques sur les échanges de connaissances en technologie nucléaire. Il illustre la façon dont, grâce à la formation des ressources humaines et à la recherche appliquée au développement de technologies propres, un pays cherche à atteindre sa souveraineté technologique.

2. Problématique et hypothèses:

Dans ce contexte global de transition énergétique, l'énergie nucléaire s'impose comme un partenaire incontournable des énergies renouvelables, mais le transfert de cette technologie sensible est encadré par des dispositifs institutionnels complexes, conçus pour en limiter

l'accès - notamment afin d'éviter la prolifération - tout en reflétant des divers intérêts des pays détenteurs de ces technologies.

Dès lors, comment ces considérations stratégiques influencent-elles les échanges de connaissances dans le secteur nucléaire ? Comment les pays en développement peuvent-ils articuler l'innovation locale avec les régulations internationales et la coopération régionale ? En quoi le cas du développement nucléaire argentin, en tant que pays en développement, peut-il éclairer ces stratégies d'équilibre entre souveraineté technologique et intégration multilatérale ?

Je vais formuler trois hypothèses en relation avec ces problématiques :

Hypothèse 1 : Les transferts de technologie sont fortement influencés par des considérations géopolitiques qui orientent les modalités d'accès, de diffusion et de coopération entre États.

Hypothèse 2 : Les transferts de technologie nucléaire et leurs développements ont été traditionnellement protégés par un groupe restreint de pays, régis par des organismes multilatéraux visant à encadrer les échanges de connaissances entre les nations désireuses d'y accéder. Ces mécanismes, visant à concilier la promotion de l'usage pacifique de l'énergie nucléaire avec la prévention de sa prolifération, structurent encore aujourd'hui les conditions de transfert et de circulation des connaissances dans ce domaine.

Hypothèse 3 : Le projet CAREM constitue une initiative emblématique de développement technologique dans un pays émergent, illustrant à la fois une volonté d'accroître ses capacités technologiques dans le domaine de l'innovation nucléaire et une insertion active dans les dynamiques de coopération régionale et internationale.

3. Outils conceptuels, méthodologiques et sources bibliographiques :

Pour mener cette analyse, je me suis appuyé sur une diversité de sources : bibliographiques, gouvernementales et institutionnelles, ainsi que sur des articles scientifiques et les témoignages de personnes impliquées dans le secteur nucléaire. J'ai adopté une structure narrative allant du général au spécifique, débutant par un cadre théorique qui permet d'expliquer les concepts clés. Ceux-ci incluent le transfert de technologie, sa conceptualisation et ses implications, tant historiques que contemporaines, la technologie

nucléaire et les intérêts ayant limité la circulation de ses connaissances et techniques, ainsi que les réacteurs modulaires (SMR) et le cas argentin, illustré par le projet CAREM (*Central Argentina de Elementos Modulares* ou Central Argentine d'Éléments Modulaires).

Visant à établir un lien entre les hypothèses formulées dans ce mémoire et la réalité, j'ai mobilisé plusieurs sources essentielles Parmi celles-ci, des revues spécialisées telles que « La Nucléaire », des publications de l'Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA), et de la Commission Nationale de l'Énergie Atomique d'Argentine, (CNEA, *Comisión Nacional de Energía Atómica*), ainsi que divers accords internationaux. Par ailleurs, l'utilisation de données historiques, économiques de discours politiques, ainsi que de conceptualisations sur la technologie, les connaissances et sa diffusion contribue à construire une analyse interconnectée englobant le passé, le présent et le futur.

En lien avec l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle, mes réflexions, idées et brouillon principal ont été rédigés en espagnol, puis traduits à l'aide de l'IA Copilot, en suivant l'instruction : « Traduisez le texte suivant en français, en conservant la connexion entre les idées et le style narratif ». Une fois la traduction effectuée, je me suis chargé de corriger les expressions trop littérales issues de l'espagnol, susceptibles d'être mal interprétées.

Chapitre 1. Concepts et dynamiques

1. Transfert de technologie et connaissances

Le concept central du transfert de technologie (TT) n'est pas aisé à définir, car selon l'angle d'analyse adopté, il peut avoir des significations différentes. Pour clarifier cette complexité, je commencerai par proposer trois définitions. La première, simple, est celle proposée par Jean-Yves Legendre, qui la décrit comme :

« Un processus selon lequel un acteur industriel s'approprie une technologie en provenance d'un acteur public ou d'une autre entreprise privée (...) tel processus implique le transfert d'actifs matériels ou immatériels d'une entité à l'autre. »¹

Bien que générale, cette description souligne que dans le TT, interviennent de multiples éléments et facteurs, révélant ainsi la complexité du concept même. À cela s'ajoute la définition proposée par l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (WIPO, *World Intellectual Property Organization*), une agence spécialisée des Nations Unies créée en 1967, qui précise :

« Le transfert de technologie est un processus de collaboration qui permet aux découvertes scientifiques, aux connaissances et à la propriété intellectuelle de circuler des créateurs vers les utilisateurs publics et privés (...). Le transfert de technologie est étroitement lié au transfert de connaissances. »²

Dans les sections suivantes, j'approfondirai l'importance du transfert de connaissances, en le distinguant de celui de l'information. Maintenant, je voudrais souligner que cette définition met en valeur l'importance de la coopération dans les échanges de connaissances. Sous l'idée de collaboration, se cache l'existence de relations de confiance, lesquelles constituent une condition sine qua non pour le succès de ces transferts, notamment lorsqu'il s'agit de technologies à double usage comme celles liées au nucléaire.

Enfin, je voudrais ajouter une troisième définition, qui provient d'un auteur fondamental dans ce mémoire, celle de Jacques Perrin :

¹ Jean-Yves Legendre, « Qu'est-ce que le transfert de technologie », *Paroles d'experts*, publié le 24 mars 2020, consulté le 2 janvier 2025, <https://www.ieepi.org/actualites/paroles-dexperts-quest-ce-que-le-transfert-de-technologie/>.

² Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle, « Qu'est-ce que le transfert de technologie », OMPI, consulté le 14 avril 2025, <https://www.wipo.int/web/technology-transfer/>.

« Le transfert de technologie entre pays industrialisés et pays sous-développé désigne l'exportation des moyens de mise en œuvre des techniques élaborées dans les pays industrialisés (..) ils ont trait à la fois à la vente des droits d'utilisation de connaissances, à la vente d'information technologique, mais aussi à la vente de biens d'équipement. »³

C'est-à-dire que, dans les transferts de technologies, il existe toujours un pays qui fournit les connaissances et un autre qui les reçoit. La génération de nouvelles connaissances, nécessite des recherches et des financements, lesquels sont principalement concentrés dans les pays développés, alors que les pays en développement deviennent généralement les récepteurs.

Il est également pertinent de noter que dans les deux définitions précédemment évoquées, figure le terme connaissance au lieu d'information. Comme mentionné auparavant, l'information possède un caractère éphémère et unilinéaire qui ne suffit pas répondre aux exigences d'un TT réussi. À l'inverse, les échanges de connaissances sont possibles grâce à une interaction dynamique entre le détenteur de la technologie et le récepteur, ce qui implique une action de la part de ce dernier en termes de compréhension, de mémorisation et de mise en pratique

En d'autres termes :

« Le savoir exige un acteur actif. Le savoir implique une appropriation et non une simple consommation. Le savoir est un acte (cognitif). L'information est quelque chose que des acteurs possèdent et obtiennent. L'information étant quantifiable, quelqu'un a plus d'information qu'un autre. L'information peut migrer plus facilement. Elle exige des compétences cognitives poussées, mais sollicite moins l'intellect des usagers potentiels. »⁴

Perrin, conscient de cette différence, souligne aussi que le sujet implique bien plus que la simple transmission d'informations. Il s'agit d'un processus d'apprentissage et de l'intégration de ces informations dans les systèmes de connaissance des récepteurs et leur mémoire.⁵ L'auteur souligne que ne pas prendre en compte ce facteur peut provoquer divers dysfonctionnements lors de l'apprentissage, principalement en raison de la non-reconnaissance des différences entre les systèmes de valeurs, les schémas et les codes de connaissance.⁶

Cela signifie que les conditions économiques, éducatives et sociales ont un poids énorme dans la réception de nouvelles technologies. La formation des individus récepteurs ainsi

³ Perrin, Jacques. *Les transferts de technologie*. (Paris: Maspero, 1983), 13.

⁴ Nico Stehr et Ulrich Ufer, « La répartition et la diffusion mondiales du savoir », *Revue internationale des sciences sociales* 60, no. 195 (2010) : 9-29.

⁵ Perrin, Jacques. *Les transferts de technologie*.

⁶ Ibid., 97.

que l'acceptation sociale peuvent constituer des obstacles et limiter l'application des technologies transférées. Dans le cas du secteur nucléaire, pour qu'un transfert de technologie soit réussi, il est essentiel que les pays destinataires forment des professionnels et mettent en place des structures organisationnelles. Il est également essentiel que les communautés locales concernées par ce type de projets soient d'accord, tout comme l'acceptation par les gouvernements, d'être soumis à une supervision par des organismes multilatéraux

Selon Legendre des « nombreux facteurs rentrent en jeu : les différences culturelles entre partenaires, leurs stratégies et visions individuelles, parfois incompatibles, leurs attentes financières. » ⁷ L'auteur souligne également que l'élément principal pour favoriser ces échanges, est la confiance⁸, un aspect fondamental dans la relation entre les pays, tant sur le plan diplomatique que commercial, pour garantir la réalisation des transferts de technologie.

Un autre élément à prendre en compte dans les processus de TT est l'intégration des organismes de recherche et d'innovation dans des écosystèmes intégrés, aux côtés des institutions gouvernementales et des entreprises.⁹ Une stratégie essentielle pour qu'il existe un échange entre les besoins des gens et les solutions apportées par la technologie, ainsi que l'intégration de nouvelles propositions. Les centres de recherche internationaux, les campus d'innovation, ainsi que les accords institutionnels et les partenariats, sont des exemples de ces écosystèmes.

Maintenant que les concepts centraux sur le TT et les échanges de connaissances ont été définis, il convient de mentionner les canaux par lesquels ces échanges s'opèrent :

« Concession de licences, cessions, contrats de collaboration, accords de transfert de matériel, accords de financement de la recherche, contrats de services consultatifs, franchisages et start-ups. Les connaissances peuvent être aussi transférées par d'autres moyens ; publications, enseignement, conférences, cours, exposés, réunions et échanges informels et contacts personnels entre scientifiques, personnes issues du monde universitaire et entreprises » ¹⁰

Naturellement, ces moyens ont évolué au fil du temps. Aujourd'hui, Internet joue un rôle prépondérant en augmentant considérablement les possibilités d'échange, grâce aux appels vidéo, *e-mails*, transmission de fichiers variés, et l'utilisation de divers logiciels. Pour soutenir

⁷ Legendre, « Qu'est-ce que le transfert de technologie ».

⁸ Ibid.

⁹ Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle. « Qu'est-ce que le transfert de technologie ». OMPI. Consulté le 4 janvier 2025, <https://www.wipo.int/web/technology-transfer/>.

¹⁰ Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle, « Qu'est-ce que le transfert de technologie ».

cette vision, certains auteurs comme Nico Stehr et Ulrich Ufer, dans leur article « *La répartition et la diffusion mondiales du savoir* », expriment quelques affirmations importantes à ce sujet :

« Grâce aux nouveaux moyens de communication, il n'est plus possible d'enfermer le savoir à l'intérieur de frontières locales (...) l'époque actuelle est marquée par l'essor de technologies qui permettent, comme jamais auparavant, de propager l'information moyennant un coût faible et en touchant un très grand nombre de personnes. »¹¹

Maintenant que la relation entre TT et les échanges de connaissances est plus claire, il devient essentiel de comprendre comment ces échanges sont influencés par les intérêts géopolitiques sous-jacents. À cet égard, la définition de Pierre-Yves Donzé est particulièrement éclairante :

« Les transferts internationaux de technologies de connaissances, c'est-à-dire l'introduction et la diffusion dans des pays de savoir techniques et scientifiques en provenance d'un autre pays contribuèrent de manière substantielle au développement et à la croissance économique. Ils prirent des formes diverses au cours du temps, en raison de la dynamique internationale du développement industriel, du changement technique et du contexte institutionnel. Par ailleurs, le transfert de technologie fut un vecteur essentiel de la globalisation des savoirs et des économies. »¹²

La relation entre technologie et croissance économique énoncée par cet auteur soutient une des hypothèses de ce travail en affirmant que les échanges de connaissances et de savoirs technico-scientifiques ont toujours été soumis aux dynamiques géopolitiques. En allant plus loin, l'auteur énumère également la succession des moments historiques tout au long des TT dans la modernité :

« Modèle unidirectionnel : du XVIII^e siècle et le milieu du XIX^e siècle, le transfert de technologie prit pour l'essentiel la forme d'un modèle unidirectionnel. La Grande-Bretagne fut la principale source de savoirs techniques. Il s'agissait donc de technologies mécaniques, aisément copiables et adaptables par processus de rétro-ingénierie.

¹¹ Nico Stehr et Ulrich Ufer, « La répartition et la diffusion mondiales du savoir », *Revue internationale des sciences sociales* LX, no. 195 (2010) : 9-29.

¹² Donzé, Pierre-Yves. « Transfert de technologie et de connaissances ». *Dictionnaire historique de la Suisse*. Publié le 22 octobre 2018. Consulté le 2 janvier 2025, <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/055506/>.

La Multipolarisation de Flux : Le développement industriel de l'Europe de l'Ouest et des Etats-Unis résulte dans la multiplication des centres de connaissances. Les mouvements migratoires restèrent cependant le vecteur principal de transfert (...)

L'institutionnalisation des transferts : législation relative à la production des brevets, qui régula la manière à laquelle pouvaient être importées des technologies étrangères. La convention de Paris, en 1883 harmonisa la protection intellectuelle à l'échelle internationale et facilita les transferts de technologie.

Le rôle des multinationales: Les nouvelles technologies de l'électronique, de la chimie et de l'automobile (...) étaient protégées par des brevets et contrôlées par des entreprises multinationales qui eurent une influence déterminante sur les conditions de transferts de technologies. »¹³

Cette progression temporelle permet d'examiner les multiples facteurs intervenant à chaque époque et de réfléchir à ceux qui font partie de notre monde contemporain. Tout au long de l'histoire les intérêts économiques et commerciaux ont joué un rôle déterminant dans les échanges de connaissances techniques et scientifiques. Ces dynamiques ont conféré un avantage stratégique aux nations détentrices de technologies, les incitant à limiter la diffusion de ces connaissances afin d'éviter la création de concurrence.

Dans le cas de la technologie nucléaire, à ces facteurs économiques et commerciaux s'ajoutent les considérations de sécurité nationale en raison de sa caractéristique d'usage dual. Et en plus de ces intérêts économiques et stratégiques des pays détenteurs, il existe chez eux un haut degré de spécialisation qui peut engendrer des situations de déséquilibre par rapport aux pays situés à la marge du progrès scientifique, au moment de réaliser des transferts de technologie.¹⁴

Face à ces inégalités liées à la production de technologie et de connaissances scientifiques, certaines propositions ont émergé dans l'actualité pour promouvoir le développement des pays périphériques, grâce à la diffusion des savoirs à l'échelle mondiale et sans restriction, comme celle de Stiglitz :

¹³ Ibid.

¹⁴ Stehr et Ufer, « La répartition et la diffusion mondiales du savoir », 9-29.

« Le savoir doit être un bien public (mondial)- D'un point de vue économique, cela signifie que le savoir en tant que bien public ne présente pas les caractéristiques de rivalité et d'exclusion qui s'attachent normalement aux biens économiques »¹⁵

Mais face à ce type de propositions qui prévoient des solutions basées sur la coopération et la solidarité, il existe une réalité incontestable : la concentration de la production de connaissances dans les pays développés et la valeur commerciale attribuée aux brevets scientifiques. Ces problématiques seront approfondies dans les pages suivantes.

Jusqu'à présent, les échanges de connaissances révèlent une dynamique manifeste, étroitement liée aux intérêts des pays producteurs. Cette dynamique tend à faire de la technologie un objet de négociation commerciale, dont la valeur dépend en grande partie de l'intérêt stratégique qu'elle revêt dans le contexte international.

Cependant, de nombreuses voix prônent la nécessité de changer le statut commercial de certains transferts de technologie. Elles soutiennent que les échanges de connaissances dans certains secteurs ne peuvent pas être subordonnés aux logiques de marché et doivent être accessibles à la société dans son ensemble. Parmi ces secteurs, on trouve la santé, la protection de l'environnement et les énergies renouvelables, où les pays en développement et non développés se font l'écho de cette revendication. Dans les pages suivantes, j'approfondirai cette situation.

2. Transfert de technologie et géopolitique.

« L'expérience a montré que la technologie n'est pas une ressource naturelle, un patrimoine commun au service du développement mais qu'elle est au centre des rapports de pouvoir et de domination »¹⁶

Jacques Perrin – 1983

Dans le chapitre précédent, j'ai exposé des concepts que je considère fondamentaux dans la définition du TT, pour mettre en évidence la manière dont les échanges de connaissances sont influencés par les intérêts des pays détenteurs. À présent, je propose de développer une analyse approfondie l'œuvre « *Transfert de technologie* » de Jacques Perrin qui s'avère particulièrement pertinente dans le cadre de ce mémoire. Elle offre des idées et des données

¹⁵ Joseph E. Stiglitz, « Le savoir doit être un bien public (mondial) », dans *Le savoir au service du développement. Rapport sur le développement dans le monde 1998-1999*, éd. Banque Mondiale (Washington, DC : Banque Mondiale, 1999), 103-118, cité dans Nico Stehr et Ulrich Ufer, « La répartition et la diffusion mondiales du savoir », *Revue internationale des sciences sociales* 60, no. 195 (2010) : 9-29.

¹⁶ Perrin, *Les transferts de technologie*, 7.

clés concernant les transferts de technologie étudiés sous l'angle géopolitique il y a quarante ans. Cette œuvre permet d'analyser comment étaient les TT dans le passé, ainsi que les différents intérêts géopolitiques qui, à l'époque, conditionnaient les échanges de connaissances, principalement de nature industrielle. Cette analyse sera contrastée avec le contexte actuel où la géopolitique et le T sont intégrés à la problématique du réchauffement climatique.

Dans la seconde moitié du siècle dernier, la technologie ainsi que les échanges de connaissances qui la sous-tend ont pris une place centrale dans le développement économique et social des pays, amenant différents organismes multilatéraux à se concentrer sur la question.

Un exemple concret a émergé en 1974 avec le Nouvel Ordre Économique International (NOEI), qui visait à promouvoir un développement économique plus équitable entre les nations. Il proposait :

- Permettre aux pays sous-développés (PSD) d'accéder aux applications de la recherche et de la technologie.
- Promouvoir dans les PSD la recherche appliquée dans un contexte plus localisé
- Orienter les travaux de recherche sur les besoins et les préoccupations des PSD, tout en cherchant à promouvoir leur auto-dépendances.¹⁷

Plus tard en 1979, la Conférence des Nations Unies sur la Science et la Technologie convenaient de l'importance d'établir des mécanismes pour réduire l'écart technologique entre les pays développés et sous-développé.¹⁸

Ainsi, Perrin affirme que « l'offre de technologie reste polarisée par les pays capitalistes industrialisés (...) la maîtrise du processus de transfert d'informations technologiques est bien plus complexe que la maîtrise et le contrôle des échanges de biens. »¹⁹ Dans le prolongement de cette idée, il convient de souligner que les échanges de connaissances s'opèrent au sein de réseaux intriqués et dynamiques. En s'inscrivant dans l'hypothèse selon laquelle les intérêts jouent un rôle déterminant dans ces transferts de connaissances, l'auteur précise que « le détenteur de technologie peut jouer sur cette complexité pour en limiter sa diffusion et garder le contrôle de son utilisation. »²⁰

¹⁷Assemblée générale des Nations Unies, *Déclaration concernant l'instauration d'un nouvel ordre économique international*, Résolution 3201 (S-VI), 1974, cité dans Jacques Perrin, *Les transferts de technologie* (Paris : Maspero, 1983), 9.

¹⁸ Assemblée générale des Nations Unies, *Déclaration concernant l'instauration d'un nouvel ordre économique international*, Assemblée générale des Nations Unies, 1 mai 1974, New York, cité dans Jacques Perrin, *Les transferts de technologie* (Paris : Maspero, 1983), 9.

¹⁹ Perrin, *Les transferts de technologie*, 20.

²⁰ Ibid., 32.

Ces dynamiques sont évidentes dans le secteur nucléaire en raison de la complexité qui existe concernant les transferts de ces technologies et les limitations qui peuvent surgir dans les pays destinataires en raison du manque de professionnels qualifiés, accentuant leur dépendance vis-à-vis des pays producteurs.

« La technologie est un bien très spécifique : elle peut être retenue en partie ou en totalité par celui qui la détient (...) Il n'est donc pas étonnant que le transfert de technologie soit au centre des rapports de dépendance des PSD par rapport aux pays industrialisés. »²¹

Il est pertinent de constater la convergence de ces arguments. : la production de technologies et de connaissances est centralisée dans les pays développés depuis des années, conséquence directe de leur capacité d'investissement dans les secteurs de la science et de la technologie.

« En 1973 on estimait que les pays développés concentraient près de 97% de dépenses de recherche-développement et 87% des chercheurs (...) »²² et en 1979, 85,3% du nombre total des brevets déposés dans le monde l'ont été par des pays développés.²³

Perrin souligne le quasi-monopole exercé par les agences des pays développés sur la diffusion d'information affectant également le secteur scientifique. Cette concentration de l'information scientifique et technique dans quelques pays (principalement les États-Unis), a suscité un débat sur la promotion d'un accès élargi et équitable aux connaissances scientifiques. En effet, des organisations françaises dénonçaient cette situation et mettait en avant l'importance du stockage de l'information comme facteur de souveraineté.²⁴

Cette œuvre met en lumière que la problématique abordée dans ce projet bien qu'ancienne, demeure d'actualité. Depuis l'émergence de la mondialisation jusqu'à nos jours, la technologie et les échanges des connaissances ont été conditionnées par les détenteurs de la technologie, poursuivant des objectifs variés, encadrés par des considérations de sécurité et de

²¹ Ibid., 118.

²² Bernard Madeuf, *L'ordre technologique international*, Notes d'études et documentaires (Paris, 1981), cité dans Jacques Perrin, *Les transferts de technologie* (Paris : Maspero, 1983).

²³ Organisation de Coopération et de Développement Économiques, *Statistiques des brevets déposés par les pays de l'OCDE* (Paris : OCDE, 1979), cité par Jacques Perrin, *Les transferts de technologie* (Paris : Maspero, 1983), 11.

²⁴ Perrin, *Les transferts de technologie*, 21.

compétitivité industrielle. Ces transferts s'opèrent de manière progressive selon les stratégies adoptées par des entreprises détentrices de technologie issues des pays les plus avancés

Pour illustrer la transmission des connaissances des pays développés, l'auteur mentionne l'installation de filiales d'entreprises transnationales. Elles commencent à transférer technologie et connaissances à travers leurs employés sous-traités, favorisant ainsi la production de différents biens dans les pays sous-développés. Ces entreprises ont normalement profité de « leur position de monopole en vendant leur technologie le plus cher possible et en fixant certaines restrictions dans leur usage. Elles utilisent plusieurs types de clauses restrictives pour limiter l'activité de leur licenciés. (...) »²⁵

En sortant du cas des entreprises privées pour inclure le domaine gouvernemental, Perrin souligne que la participation à ces transferts de technologie est dirigée par « impératifs militaires ou politiques (zone d'influence prioritaire à conserver ou à conquérir). »²⁶ Dans les analyses que je mènerai ultérieurement, j'examinerai ces stratégies en lien avec la régulation des échanges de connaissances dans le domaine de la technologie nucléaire.

Pour conclure son œuvre sur les TT, Perrin cite un passage d'un autre auteur, Perroux, que je considère pertinent de mentionner, car il est étroitement lié à la problématique examinée dans ce projet de mémoire.

« Toute domination, même simplement économique ou technologique, porte en elle l'impérialisme culturel comme la nuée porte l'orage. Il faut beaucoup de vigilance pour éviter que la coopération technique et culturelle, l'importation des équipements et des technologies n'imposent pas un modèle de développement inadapté, ne favorisent pas l'exode des cerveaux et, sous les apparences d'une coopération de bon aloi, ne conduisent pas à une nouvelle dépendance. »²⁷

Cette réflexion s'inscrit directement dans l'hypothèse centrale de ce projet qui tente de démontrer que les transferts de technologie et les échanges de connaissances sous-jacents sont souvent influencés par les intérêts géopolitiques des pays détenteurs. Ces intérêts visent en

²⁵ Ibid., 57.

²⁶ Ibid., 59.

²⁷ François Perroux, *Pour une philosophie du nouveau développement* (Paris: Presses de l'UNESCO, 1981), cité par Jacques Perrin, *Les transferts de technologie* (Paris: Maspero, 1983), 13.

grande partie à protéger leurs positions stratégiques et économiques, une dynamique particulièrement visible dans le secteur nucléaire.

Jusqu'ici, j'ai exploré les concepts de TT et d'échanges de connaissances, étroitement liés, ainsi comment les détenteurs et producteurs de technologies orientent ces échanges selon leurs intérêts propres, Perrin a clairement exposé cette logique dans son œuvre. Cependant, les enjeux ont évolué. Si dans le passé, différents organismes internationaux ont promu le transfert de technologie vers les pays sous-développés pour encourager la croissance économique et réduire le fossé technologique, le TT est désormais crucial face aux défis du changement climatique et du développement durable.

Un exemple probant de cette nécessité se retrouve dans l'article 2 de l'Accord de Paris adopté en décembre 2015. Dans le but de limiter l'augmentation de la température moyenne mondiale, à un niveau nettement inférieur à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels.²⁸ L'utilisation massive de technologies vertes y est proposée, mais, comme par le passé, le développement technologique demeure concentré dans quelques pays développés. Au début du XXIe siècle, la répartition des connaissances scientifiques et techniques reflétait des dynamiques similaires décrites par Perrin à la fin des années 1970. Ainsi, entre 2000 et 2005 les États-Unis, l'Allemagne et le Japon, ont publiés les deux tiers des brevets.²⁹

Selon les prévisions, environ 75% de la croissance des émissions de CO2 d'ici 2050 proviendront des pays en développement.³⁰ C'est pourquoi accélérer le TT vertes vers d'autres pays est essentiel si l'on veut atteindre les objectifs de la COP. Le problème est que les détenteurs de ces technologies craignent que les entreprises des pays en développement deviennent plus compétitives grâce à ces transferts et perdent ainsi leur position dominante dans divers secteurs. Une fois encore, les échanges de connaissances sont influencés par des intérêts économiques et commerciaux.

La société moderne s'est en grande partie régie par des traités et des accords signés dans des organismes multilatéraux. Surtout en ce qui concerne le commerce, la santé, l'éducation et, bien sûr, les technologies à double usage, mais le sujet qui nous concerne maintenant est l'environnement. De nombreux gouvernements s'accordent sur des actions pour ralentir le

²⁸ Organisation des Nations Unies, *Accord de Paris. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (Paris : UNFCCC, 2015), [Paris Agreement French](#).

²⁹ Antoine Dechezleprêtre, Matthieu Glachant, Ivan Hascic, Nick Johnstone, et Yann Ménière, « Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: A Global Analysis, » *Review of Environmental Economics and Policy* 5, no. 1 (2011): 109-130, <https://doi.org/10.1093/reep/req023>.

³⁰ Matthieu Glachant, Jean-Philippe Ing, et Jean-Philippe Nicolai, « Transfert de technologies propres, commerce international et accords environnementaux, » *Revue française d'économie* 21, no. 3 (2016) : 138.

réchauffement climatique, et le TT à faible émission de gaz à effet de serre occupe une place centrale dans ce débat. Cependant, des conflits d'intérêts émergent, car « les pays en voie de développement considèrent le transfert de technologie comme un processus onéreux qui devrait être pris en charge par les pays développés. »³¹

Les accords climatiques et commerciaux supposent que le poids du TT passe par le marché et génère de nouveaux accords sur les droits de propriété intellectuelle, les rendant ainsi plus accessibles.³² Subventionnant l'adoption de ces technologies dans les pays en développement. Quand la valeur est liée à des considérations commerciales, de nombreux facteurs sont pris en compte lors de la fixation du prix de la technologie et de son transfert. Bien que l'on ait dit précédemment que les entreprises et les pays cherchaient à obtenir le maximum de profit économique, certains secteurs devraient être un peu plus contrôlés pour que les conditions d'échange soient justes pour les deux parties :

«Le transfert de technologies peut être accéléré grâce à des programmes sectoriels de formation, des projets de coopération technologique ou des usines pilotes. (...) Le droit des brevets joue un rôle crucial dans le développement des technologies vertes puisqu'il encourage l'investissement en innovation en permettant aux entreprises de recouvrer leurs dépenses d'investissement. Mais il confère à l'innovateur une position de monopole temporaire sur la technologie brevetée, ce qui peut en limiter la diffusion »³³

En résumé, l'urgence climatique et les différents accords internationaux visant à promouvoir des solutions n'excluent pas la situation historique selon lesquelles « la décision d'un pays de transférer sa technologie dépend-elle de sa balance commerciale. »³⁴ Toutefois ces intérêts entrent en conflit avec les besoins actuels. Dans ce contexte les organismes internationaux tentent de jouer le rôle de médiateurs pour garantir aux pays en voie de développement l'accès à des technologies plus propres et à des sources d'énergie à faible émission de CO₂.

La technologie nucléaire sera-t-elle incluse dans ce groupe ? Certaines actualités mentionnent l'émergence de nouvelles sources de financement pour la production d'énergie nucléaire, souvent en lien avec les projets SMR. Cependant, compte tenu des critiques et des systèmes de contrôle en vigueur, l'inclusion de ces technologies et leur possible assouplissement

³¹Glachant, Ing, et Nicolai, « Transfert de technologies propres », 138.

³² Ibid., 153.

³³ Ibid., 140.

³⁴ Ibid.

dans les échanges de connaissances restent une énigme pour l'instant. Il est probable que, cette technologie jouer un rôle déterminant dans la réponse globale à la problématique du changement climatique, en ligne avec ce qui est stipulé à l'article 45 de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CNUCC) :

«Les pays développés Parties et les autres Parties développées figurant à l'annexe II prennent toutes les mesures possibles en vue d'encourager, de faciliter et de financer, selon les besoins, le transfert ou l'accès de technologies et de savoir-faire écologiquement rationnels aux autres parties (...) » ³⁵

En ligne avec cette convention, un rapport spécial du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) soutient que :

«Il faudra innover et renforcer les efforts de transfert de technologies écologiquement rationnelles pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et s'adapter aux changements climatiques, si l'on veut atteindre l'objectif de la Convention et réduire la vulnérabilité aux effets de ces changements » ³⁶

Compte tenu des objectifs stipulés dans la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, les transferts de technologies vertes et de génération d'énergies propres deviennent indispensables, car « le développement économique est extrêmement rapide dans les pays en développement, mais il ne sera pas durable si ces pays suivent les tendances que les pays développés ont suivies par le passé en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre. »³⁷

La question se pose à nouveau de savoir si la technologie nucléaire et son transfert surmonteront les anciens obstacles liés au contexte géopolitique, en matière de sécurité et de non-prolifération, pour devenir une technologie de génération d'énergie plus accessible pour les pays en développement qui ne maîtrisent pas cette technologie.

Cependant, il est mentionné que de nombreuses technologies susceptibles de réduire la production de gaz à effet de serre ou de contribuer à l'adaptation au changement climatique ne

³⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change, *United Nations Framework Convention on Climate Change: Text* (United Nations, 1992), [conveng.pdf](#).

³⁶ GIEC, *Questions méthodologiques et technologiques dans le transfert de technologies* (Organisation météorologique mondiale [OMM] et Programme des Nations Unies pour l'environnement [PNUE], 2000).

³⁷ GIEC, *Questions méthodologiques et technologiques dans le transfert de technologies*.

sont pas encore viables³⁸. Nous pourrions inclure parmi ces cas les SMR, qui présentent en théorie de multiples avantages dans lutte contre le réchauffement climatique, mais cette technologie est encore en phase d'étude.

³⁸ Ibid.

Chapitre 2. La technologie nucléaire et ses dynamiques de transfert.

1. Brève histoire de la technologie nucléaire, restrictions sur l'échange de connaissances et contrôle international de leur transfert.

Jusqu'ici, j'ai abordé les concepts fondamentaux pour comprendre ce qu'est un transfert de technologie, défini comme un échange de connaissances scientifiques et techniques. J'ai également évoqué les facteurs qui déterminent la réussite de ces transferts ainsi que les intérêts géopolitiques qui influencent leur nature et leur fluidité. Motivés par des objectifs commerciaux ou de coopération, ou limités par des questions de concurrence et d'autres facteurs, ces intérêts évoluent avec le cours de l'histoire et l'apparition de nouvelles problématiques sociales. C'est le cas actuel du réchauffement climatique, où certaines technologies deviennent le centre des débats concernant la nécessité de faciliter leur transfert dans le but de remplir des objectifs internationaux de décarbonisation de l'atmosphère.

Parmi ces technologies, la production d'énergie par la fission nucléaire commence à faire partie de la discussion, surtout suite à la récente publicité autour des petits réacteurs modulaires (SMR). Etant donné que l'énergie nucléaire est l'un des axes de ce mémoire et les intérêts sous-jacents au contrôle strict de cette technologie sont au cœur de la question, il est essentiel de faire un bref rappel de son histoire.

Je présente ci-dessous quelques dates et événements qui, selon moi, sont importants pour relier les échanges de connaissances et leurs conditions dans un contexte géopolitique. Voici des moments clés, principalement tirés de *Le nucléaire* de Cédric Lewandowski³⁹ :

- **1896** : Le chercheur français Henri Becquerel observe la présence de radiation dans les sels d'uranium.
- **1897** : Marie Skodowska-Curie consacre sa thèse de doctorat au phénomène qu'elle appelle radioactivité.
- **1903** : Ernest Rutherford découvre la forte concentration de masse dans les noyaux atomiques, permettant ainsi de perfectionner le modèle atomique.
- **1932** : James Chadwick découvre le neutron, apportant un élément clé au modèle de la structure atomique.

³⁹ Cédric Lewandowski, *Le nucléaire* (Paris: Presses Universitaires de France, 2024).

- **1933** : Leo Szilard développe le concept de réaction en chaîne.
- **Début 1939** : Otto Hahn et Fritz Strassmann constatent l'apparition de nouveaux éléments, suite à la radiation d'uranium. Lise Meitner et Otto Frisch interprètent ce processus physico-chimique, théorisant sur la possibilité qu'un neutron soit absorbé par un noyau d'uranium, provoquant sa rupture. La fission nucléaire a ainsi été découverte.
- **Mai 1939** : Joliot, Halban et Kowalski présentent les résultats de leurs expériences et idées dans trois brevets, dont deux sont liés à la production d'énergie, et un autre classé comme secret militaire.

Le contexte international troublé de l'époque annonçait l'avènement d'un conflit militaire de grande envergure. La Seconde Guerre mondiale se profilait à l'horizon, et les découvertes mentionnées précédemment allaient être appliquées exclusivement dans le domaine de la défense nationale, enveloppant cette technologie dans un voile de secret. Cette situation se reflète clairement dans la lettre d'Albert Einstein et Leo Szilard adressée au président des États-Unis, Roosevelt, avertissant d'une dangereuse course dont l'objectif était de fabriquer une bombe nucléaire avant les Allemands.⁴⁰

La création du programme Manhattan en 1942 fut en partie une réponse à cette lettre. Ce projet, guidé par des intérêts de sécurité nationale ainsi que par la protection du monde occidental, avait pour objectif de développer la bombe nucléaire. Cet objectif fut atteint en 1945, sous la direction d'Oppenheimer et Groves, avec la réalisation du premier test nucléaire au Nouveau-Mexique, dans le cadre du projet Trinity. Cela fut suivi des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki en août de la même année. Ces actions conduisirent à la fin de la Seconde Guerre mondiale, mais les transferts de cette technologie et les échanges de connaissances dans le domaine nucléaire restèrent restreints avec la naissance de la Guerre froide et la division du monde en deux blocs : occidental et soviétique. Cependant, certains pays, comme la France et l'Argentine, cherchèrent à développer leurs propres connaissances et technologies afin de ne pas être soumis à ces restrictions, dans une quête de souveraineté technologique et énergétique. Cela fut particulièrement vrai pour la France :

⁴⁰Albert Einstein et Leó Szilárd, *Lettre à Franklin D. Roosevelt*, Maison-Blanche, Washington, D.C., 1939, [Einstein's Letter to President Roosevelt - 1939 | Historical Documents](#).

« (...) développer un programme nucléaire fournissait le moyen de faire de la France une nation puissante dans le domaine de la technique – de refondre les symboles de l'identité française sous une forme techniques » ⁴¹

La technologie nucléaire et son application civile furent impulsées après le discours d'Eisenhower à l'ONU en 1953, où il lança le programme *Atoms for Peace*. Il y proposa la création de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), dont l'objectif principal était de développer l'usage des technologies nucléaires à des fins pacifiques.

« Des experts seront appelés à assurer l'application de l'énergie atomique aux besoins de l'agriculture, de la médecine ou d'autres arts de la paix. L'organisme attachera une importance particulière à la fourniture d'une abondante énergie électrique aux régions du monde qui en sont dépourvues. » ⁴²

. Suivant cette logique, en 1954, le Congrès américain fit un premier pas en facilitant l'exportation de technologies et de matériaux nucléaires sous un contrôle strict du gouvernement, avec l'*Atomic Energy Act*. Cela donna aux États-Unis une influence accrue sur la scène internationale en raison des avancées significatives de leur secteur nucléaire et de leur capacité à contrôler cette technologie et leurs transferts.

Le Royaume-Uni, qui avait déjà un programme nucléaire en développement avant de participer au projet Manhattan, positionna l'énergie nucléaire comme une solution à la dépendance vis-à-vis des combustibles étrangers, en particulier après la crise du canal de Suez. C'était l'objectif principal du fameux *White Paper*.

Un autre pays ayant participé au projet Manhattan fut le Canada, dont les travaux successifs culminèrent avec la création de la technologie CANDU (*Canada Deuterium Uranium*). Cette technologie, utilisant de l'eau lourde et de l'oxyde d'uranium, permettait d'éviter la dépendance aux combustibles externes ; tout en se passant du processus d'enrichissement de l'uranium, soigneusement contrôlé par les États-Unis. Cette caractéristique permit au Canada d'exporter sa technologie CANDU à environ six pays, favorisant des relations bilatérales ainsi que le développement économique et commercial de son secteur nucléaire.

La France, en particulier, considérait l'énergie nucléaire comme un modèle de progrès technique destiné à affirmer sa position parmi le groupe des nations maîtrisant cette technologie.

⁴¹ Gabrielle Hechtel, *Rayonnement de la France* (Paris : Éditions Amsterdam, 2014), 76.

⁴² Dwight D. Eisenhower, *Discours à l'Assemblée générale des Nations Unies*, ONU, New York, 1953.

Cela lui permettrait également d'apporter son soutien aux pays en développement, lui offrant ainsi une opportunité de retrouver une partie de sa gloire passée en tant qu'empire.⁴³ En 1945, la création du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) avec ses développements, recherches et expertise dans la construction de réacteurs, ont constitué la base de ce qui a été appelé le régime technocratique. À cela s'est ajoutée l'expertise d'Électricité de France (EDF), avec la réalisation de réacteurs toujours plus efficaces en matière de production énergétique. Par ailleurs, des opportunités ont également été offertes aux entreprises privées pour participer à ces projets, afin que l'échange de connaissances produise une ligue de champions capables d'exporter cette technologie française dans le monde entier.⁴⁴

Jusqu'à présent, l'histoire nous montre les différents chemins par lesquels ce groupe sélect de pays a contrôlé la technologie nucléaire. Tandis que le Canada et le Royaume-Uni, bien qu'ayant mené des recherches et des développements antérieurs, ont bénéficié des échanges de connaissances issus du projet Manhattan aux États-Unis. D'autres, comme le Japon, l'Inde et le Pakistan, y sont parvenus grâce au transfert de technologies de pays occidentaux.

Quant à la Russie, elle percevait la technologie nucléaire comme un pilier essentiel pour accroître son influence internationale, créant d'immenses arsenaux nucléaires pendant la guerre froide. Par la suite, elle s'est engagée dans la construction de réacteurs nucléaires dans divers points de l'Union soviétique, utilisant des technologies propres dès les années 40-50 avec la création de réacteurs à fission dotés de modérateurs en graphite. Jusqu'à ce que l'accident de Tchernobyl, causé par des défaillances techniques et humaines, contraigne à effectuer des changements majeurs dans cette technologie⁴⁵, modifiant ainsi considérablement la perception sociale de l'énergie nucléaire.

Plus tard, je me concentrerai sur le cas argentin et son programme nucléaire, qui à ses débuts s'est appuyé sur les recherches de scientifiques allemands et autrichiens, mais aussi des Américains, après la création du programme *Atoms for Peace*. Ce pays a décidé de développer ses propres technologies dans le but d'atteindre l'autonomie technologique, en réponse aux restrictions internationales.

Jusqu'ici, j'ai évoqué les origines de la technologie nucléaire et son ouverture à une utilisation dans le secteur civil, après avoir été soumise à un strict contrôle en raison de son application presque exclusive dans le secteur militaire et son contrôle stratégique par les États-Unis. Dans la partie suivante, je vais approfondir les développements technologiques dans la

⁴³ Hechtel, *Rayonnement de la France*, 81.

⁴⁴ Ibid., 112.

⁴⁵ Lewandowski, *Le nucléaire*.

production d'énergie à partir de la fission nucléaire, les types de réacteurs, les organismes multilatéraux et, le rôle de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Qui fut créée en 1957 dans le but de faciliter les échanges de connaissances et de contrôler que les transferts de technologie et de matières premières soient réservés à des usages civil.

Avant de poursuivre ce projet, par honnêteté intellectuelle, je tiens à mentionner l'utilisation de l'intelligence artificielle pour corriger la chronologie, les noms de famille, les prénoms et les dates. Face à l'immensité du contenu bibliographique lié à ces sujets, j'ai choisi de m'appuyer sur Copilot, le chatbot de Microsoft, ainsi que sur ChatGPT d'OpenAI.

Cela dit, le premier brevet déposé, visant à fabriquer un réacteur nucléaire, fut présenté par Joliot, Perrin et d'autres collaborateurs en mai 1939 ⁴⁶. Cependant, il fallut attendre la conférence de Genève en 1955 pour que ces connaissances, jusque-là considérées ultra-secrètes, soient partagées librement pour la première fois, grâce à l'assouplissement proposé par le programme *Atoms for Peace*.

À cette époque, il existait essentiellement deux types de réacteurs. Les réacteurs à neutrons thermiques, qui utilisent des modérateurs comme le graphite, l'eau lourde ou l'eau normale pour ralentir les neutrons. Ce type de réacteur nécessite un combustible plus riche en matériau fissile que l'uranium naturel, avec une proportion faible de 2 à 3 %. L'autre type inclut des réacteurs à neutrons rapides, qui n'utilisent pas de modérateurs et nécessitent un combustible enrichi entre 10 % et 20 % d'atomes fissiles⁴⁷. Ces réacteurs reposent sur une technologie d'enrichissement développée aux États-Unis lors du projet Manhattan et rigoureusement contrôlée par ce pays.

La concurrence technologique et les différents besoins de chaque pays ont favorisé la spécialisation des différents systèmes. Ainsi, les États-Unis ont opté pour l'utilisation de l'eau comme modérateur, tandis que l'Union soviétique a opté pour des réacteurs refroidis par eau avec modérateur en graphite, bien qu'elle possédât aussi des réacteurs à neutrons rapides.

La France, le Canada et l'Angleterre, qui ne maîtrisaient pas entièrement les techniques d'enrichissement à l'époque, ont adopté des options distinctes. Le Canada, a développé la technologie CANDU utilisant de l'oxyde d'uranium et de l'eau lourde. Cette technologie fut ensuite exportée avec succès vers d'autres pays, faisant du Canada un acteur clé du secteur nucléaire. La France et l'Angleterre ont choisi la technologie utilisant le graphite et l'uranium naturel. La France, a développé une infrastructure nucléaire impressionnante, comptant aujourd'hui 58 réacteurs, dans une quête de souveraineté énergétique. L'Angleterre, de son côté,

⁴⁶ Paul Reuss, *L'énergie nucléaire* (Paris : Presses Universitaires de France, 2009).

⁴⁷ Reuss, *L'énergie nucléaire*.

a vu dans ses ressources carbonifères une solution adéquate⁴⁸. L'élargissement de la diffusion des connaissances, les échanges scientifiques et l'intégration d'entreprises privées dans le secteur nucléaire ont permis à d'autres pays d'accéder à cette technologie. Des entreprises telles que Framatome en France, Rosatom en Russie, Westinghouse aux États-Unis, entre autres, ont participé à la compétition internationale pour conquérir de nouveaux marchés.

Compte tenu de la puissance de cette technologie, avec des applications dans les secteurs civil et militaire, il était indispensable de mettre en place des mécanismes de contrôle. À qui devait-on attribuer un tel droit et une telle responsabilité ? Comment exercer ce contrôle ? Ces interrogations sont centrales dans cette réflexion et seront approfondi plus en détail.

Pour commencer, je vais mentionner le Statut de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), publié en 1957. Cette agence fut créée pour promouvoir l'application de cette technologie dans le secteur civil. En outre, elle supervise la coopération internationale en matière de sécurité nucléaire, de recherche et de TT. L'AIEA a également commencé à fournir une assistance technique aux pays non nucléaires, jouant un rôle clé dans les échanges de connaissances et de techniques dans le domaine nucléaire. L'article 3 de son statut, relatif aux fonctions de l'agence, précise :

« Encourager et de faciliter, dans le monde entier, le développement et l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques et la recherche dans ce domaine; si elle y est invitée, d'agir comme intermédiaire pour obtenir d'un de ses membres qu'il fournisse à un autre membre des services, des produits, de l'équipement ou des installations; et d'accomplir toutes opérations ou de rendre tous services de nature à contribuer au développement ou à l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques ou à la recherche dans ce domaine »⁴⁹

En cette même année, fut également signé le traité Euratom et créée la Communauté européenne de l'énergie atomique, promouvant la coopération et la recherche conjointes entre les pays européens. Ces efforts ont encouragé le développement de technologies nucléaires à usage civil, favorisé les échanges scientifiques et permis la création de divers réacteurs de recherche à travers l'Europe.

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ Agence internationale de l'énergie atomique, *Statut tel qu'amendé au 28 décembre 1989*, Statute of the IAEA - French (1989), consulté le 27 décembre 2024. [Statute of the IAEA - French](#).

La guerre froide avait conduit à une croissance exponentielle des arsenaux nucléaires des États-Unis et de la Russie, sous la doctrine de la "*destruction mutuelle assurée*". Toutefois, la création et le test de la bombe H, issus de recherches sur la fusion des atomes d'hydrogène, et sa puissance colossale ; ont suscité une prise de conscience mondial qui a abouti au Traité de non-prolifération, signé en 1968 :

« Considérant les dévastations qu'une guerre nucléaire infligerait à l'humanité entière... »⁵⁰

Signé dans le but principal de promouvoir le désarmement des pays dotés d'armes nucléaires et de restreindre le développement de ces armes dans les pays qui ne les possédaient pas, ce traité repose sur une liste de matériaux sensibles et de technologies nucléaires destinées à des usages civils, avec des garanties visant à empêcher la fabrication d'armements nucléaires. Il a été signé par un grand nombre de pays et, au 3 mai 2023, on comptait 182 États non dotés d'armes nucléaires signataires du traité, ainsi que les cinq puissances nucléaires permanentes du Conseil de sécurité de l'ONU : les EUA, la Chine, la Russie, la France et le Royaume-Uni.⁵¹

Bien que ce traité promeuve l'utilisation civil de la technologie nucléaire, le Pakistan, non signataire du TNP, a acquis dans les années 1960 un réacteur canadien de type CANDU, qui a favorisé le développement de bombe nucléaire après sa défaite en 1971 face à l'Inde en 1971. Ce dernier, disposant également d'un réacteur similaire fourni par le Canada à la même époque, a commencé à tester des armes nucléaires en 1974, mettant ainsi en lumière les limites du Traité dans certaines situations.

En réponse à cette situation en 1971 le Comité Zangger fut créé. Ce comité est intégré par des États exportateurs et producteurs de biens et de technologies nucléaires, dans le but de contrôler les exportations. Cependant, il a été formellement établi en 1974 avec l'objectif fondamental de garantir que les technologies nucléaires ne soient pas détournées à des fins militaires, conformément au paragraphe 2 de l'article 3 du TNP :

« Tout Etat Partie au Traité s'engage à ne pas fournir : a) de matières brutes ou de produits fissiles spéciaux, ou b) d'équipements ou de matières spécialement conçus ou préparés pour le traitement, l'utilisation ou la production de produits fissiles spéciaux, à un Etat non doté

⁵⁰ Organisation des Nations Unies, *Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires*, ONU, 1968, consulté le 15 mars 2025. [volume-729-I-10485-French.pdf](#).

⁵¹ Agence internationale de l'énergie atomique, *L'AIEA et le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires*, consulté le 30 mars 2025. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1970/infcirc140_fr.pdf.

d'armes nucléaires, quel qu'il soit, à des fins pacifiques, à moins que lesdites matières brutes ou les dits produits fissiles spéciaux ne soient soumis aux garanties requises par le présent article.
»⁵²

Le comité compte actuellement 39 membres. Parmi les technologies observées par ce comité figurent les réacteurs nucléaires et leurs composants, les équipements de séparation isotopique, ainsi que les matières contenant de l'uranium enrichi et du plutonium. Pour cela, le comité a proposé les garanties de l'AIEA⁵³. Ainsi, un certain équilibre de pouvoir a été établi entre les nations contrôlant cette technologie, limitant l'accès à d'autres pays.

En parallèle, une autre entité appelée le Club de Londres, qui deviendra plus tard le Groupe des Fournisseurs Nucléaires en 1978, a été créée. Cet organisme multilatéral a vu le jour après le test de la bombe nucléaire indienne en 1974 et a proposé un contrôle intégral des activités nucléaires des pays importateurs de technologie nucléaire sous la supervision de l'AIEA⁵⁴. Cela avait pour but de réaffirmer les principes visant à éviter la prolifération des armes nucléaires.

L'intérêt global pour la sécurité internationale a conduit à l'adoption de nombreux traités et accords encourageant la coopération entre les nations pour contrôler cette technologie et limiter ses applications militaires :

- 1991 : Le Traité START (*Strategic Arms Reduction Treaty*) est un accord bilatéral entre la Russie et les États-Unis visant à réduire leurs arsenaux d'armes nucléaires.
- 1994 : Convention sur la sécurité nucléaire⁵⁵
- 1996 : Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (CTBT)
- 2021 : Traité sur l'interdiction des armes nucléaires (TPAN)

Raphaël Prenat dans son analyse évoque également les tensions existantes entre les pays face à ce système :

⁵² Ibid.

⁵³ Zangger Committee, *Our Mission*, consulté le 19 mars 2025, *Our mission - Zangger Committee*, <https://www.zanggercommittee.org>.

⁵⁴ Raphaël Prenat, *Relations internationales et régimes multilatéraux de contrôle des technologies sensibles*, AFRI, Volume I (Paris : Centre Thucydide, 2000).

⁵⁵ Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN), *Convention sur la sûreté nucléaire*, consulté le 31 mars 2025. <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/relations-internationales/conventions-et-traites-internationaux/convention-sur-la-surete-1>.

« Les États non-fournisseurs de technologies souhaitent que les discussions sur l'utilisation pacifique et le contrôle des transferts soient réalisées dans un cadre différent, celui de régimes conventionnels internationaux. »⁵⁶

Cela fait écho à la critique des certains pays sur la gouvernance internationale des connaissances et technologies stratégiques, qui devraient être librement accessibles lorsque les objectifs sont pacifiques. Effectivement, comme le mentionne l'auteur :

« Les régimes multilatéraux de contrôle sont composés d'un groupe sélect de 23 États, ce qui explique qu'un petit nombre de pays seulement ait maîtrisé l'ensemble des technologies sensibles. »⁵⁷

Une des conséquences de cette situation est la revendication de certains pays en développement, qui soutiennent que la finalité de ces régimes aurait été de maintenir les pays pauvres dans une situation de dépendance.⁵⁸

Cependant afin de renforcer les relations bilatérales, Rosatom, en Russie, a signé dans les années 1990 d'importants accords avec des pays comme la Chine, l'Inde, l'Égypte et la Turquie, ainsi qu'un grand nombre de pays issus de l'Union soviétique à partir des années 2000. Ces accords ont permis à la Russie d'affirmer son influence internationale dans le secteur nucléaire. Au-delà des bénéfices économiques liées à la construction de réacteurs, le pays a promu la création de conférences et de séminaires permettant des échanges entre ses scientifiques et ceux de ces pays, ainsi que l'assistance technique indispensable dans ce domaine.

En ce qui concerne le cas de l'Argentine, en 1991 elle ait emprunté une voie particulière en créant avec le Brésil, l'ABACC (*Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares*), Agence Brésil-Argentine de Comptabilité et de Contrôle des Matériaux Nucléaires. Cette agence démontrait au monde entier comment deux nations adversaires pouvaient parvenir à un accord pour poursuivre conjointement leurs recherches et développements, proposant l'utilisation de garanties mutuelles. Par la suite, la confirmation de l'utilisation exclusivement civile de cette technologie par ces deux pays a permis à l'Argentine de gagner en confiance dans le secteur international, devenant avec le temps un exportateur de

⁵⁶ Prenat, *Relations internationales et régimes multilatéraux de contrôle des technologies sensibles*.

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Ibid.

technologies et un pays offrant assistance technique et des formations professionnelles dans ce secteur.

En résumé, une grande partie des pays du monde se sont accordés sur l'importance de contrôler les transferts de technologies nucléaires ; tout en facilitant l'assistance technique, les échanges de connaissances et les technologies nécessaires pour ses applications dans le secteur civil. Selon les termes de Prenat :

« Les régimes sont le moyen privilégié de diminuer les incertitudes et les risques dans les relations internationales. »⁵⁹

La confiance et la réciprocité, essentielles dans la création de ces régimes, a permis les échanges scientifiques et techniques dans le domaine des technologies à double usage, telles que le nucléaire. Ces systèmes de contrôle multilatéraux ont été convenus par un grand nombre de pays suivant des intérêts liés à la sécurité internationale. Ainsi, il convient également de mentionner les restrictions unilatérales sous forme de sanctions économiques et politiques appliquées par les États-Unis à des pays considérés comme hostiles ou non fiables.

En entravant les recherches et les développements, ainsi que l'accès aux matériaux et aux outils, les États-Unis ont imposé une politique rigoureuse en matière de technologie nucléaire. Ces mesures sont motivées non seulement par des intérêts de sécurité nationale, mais également par des préoccupations de concurrence technologique et commerciale. Par exemple, en 1977, Washington s'est doté de moyens juridiques et politiques pour faire pression sur les États proliférants. L'amendement Symington prévoyait la suspension de l'aide économique et militaire aux États qui importaient des équipements d'enrichissement ou de retraitement.⁶⁰ Cependant, l'application unilatérale de sanctions a donné aux États-Unis le pouvoir d'influencer les programmes nucléaires d'autres pays, en poursuivant leurs propres intérêts stratégiques, comme ce fut le cas du Brésil dans les années 80.⁶¹

Ces sanctions étaient directement liées à la mise en œuvre du TNP et, avec le temps, elles ont obtenu un consensus international, conférant une certaine extraterritorialité au droit américain. Dans les années 1990, l'Iran a été sanctionné après avoir été qualifié d'État ayant des

⁵⁹ Ibid.

⁶⁰ Jean-Marie Rainaud, *Le droit nucléaire* (Paris : Presses Universitaires de France, 1992), cité par Stéphane Roche, *Les sanctions économiques contre la prolifération nucléaire : une histoire américaine*, dans *Les Cahiers de la Revue Défense Nationale* (2024).

⁶¹ Amy Finkelstein, *Brazil, the United States and Nuclear Nonproliferation* (The Fletcher School of Law and Diplomacy, 1983), cité par Stéphane Roche, *Les sanctions économiques contre la prolifération nucléaire : une histoire américaine*, dans *Les Cahiers de la Revue Défense Nationale*, n.d.

ambitions nucléaires. À ce pays se sont ajoutés l'Irak et la Corée du Nord, désignés par les États-Unis comme faisant partie de l'"Axe du Mal" en 2002. Toutefois, l'Inde, pays également considéré comme acteur proliférant, a bénéficié d'un assouplissement des restrictions commerciales et d'un transfert de technologie par les États-Unis⁶², suivant des intérêts économiques et géostratégiques.

Le problème qui découle de cette situation est la création d'économies informelles où émergent des voies alternatives pour accéder à ces technologies (marchés noirs), ainsi que le renforcement de discours extrémistes contre les États-Unis et l'ordre global. En effet, plusieurs pays, affectés par ces pratiques, ont trouvé un soutien auprès de nations comme la Russie et la Chine, qui y voient une opportunité pour renforcer leur position dans le secteur nucléaire et gagner en influence internationale, poursuivant ainsi ses objectifs commerciaux et diplomatiques.

À cette étape, j'ai mentionné comment depuis les prémices du développement nucléaire, le contexte géopolitique et les impératifs de sécurité nationale et internationale ont façonné ses échanges de connaissances scientifiques et techniques. Puis sont apparus des traités et des organismes multilatéraux chargés de contrôler les transferts de ces technologies et leur utilisation. Bien que ces traités aient offert des réglementations favorisant les transferts de technologies avec des applications civiles, la maîtrise de cette technologie exige que les pays disposent de professionnels hautement qualifiés, ainsi que d'infrastructures et de systèmes de travail bien établis.

Ces aspects seront explorés dans la deuxième partie de ce chapitre, qui se concentrera sur la technologie nucléaire et les échanges de connaissances.

2. Assistance internationale pour l'utilisation de la technologie nucléaire dans le secteur civil et promotion de l'échange de connaissances.

La complexité de la technologie nucléaire repose sur une profonde maîtrise de la physique et de la chimie, ainsi que sur l'utilisation de techniques développées dans des pays avancés après des années de recherche scientifique de haut niveau. C'est pourquoi le transfert de ces technologies n'est pas facile, et parvenir à maîtriser cette technique pour la production d'électricité et de chaleur peut nécessiter plusieurs générations de formation de professionnels

⁶² Stéphane Roche, *Les sanctions économiques contre la prolifération nucléaire : une histoire américaine*, dans *Les Cahiers de la Revue Défense Nationale*, n.d. <https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?carticle=657&cidcahier=1342>

qualifiés. Ainsi, l'AIEA a commencé ses cycles de transfert de technologie nucléaire en s'appuyant sur des techniques de production de radioisotopes, avec des applications dans la santé, l'amélioration des produits agroalimentaires, ainsi que la réalisation de diverses recherches.

« Leur application dans ces domaines contribue à former des cadres de techniciens et d'administrateurs familiarisés avec l'utilisation des sciences nucléaires à des fins économiques, capables d'utiliser les rayonnements en toute sécurité, et peut en outre être considérée comme constituant une première étape vers l'utilisation éventuelle de l'énergie nucléaire » ⁶³

Selon l'auteur, en 1982, les pays capables de produire de l'énergie à partir de la fission nucléaire étaient une douzaine, tandis que la technologie nucléaire appliquée à la recherche était utilisée par environ 120 pays.⁶⁴ De nos jours, selon les informations figurant sur le site de l'AIEA, 53 pays possèdent des réacteurs de recherche, avec environ 800 construits au total⁶⁵ bien que beaucoup d'entre eux soient actuellement démantelés. Et au 19 avril 2024, 32 pays producteurs d'électricité nucléaire, qui exploitent 417 réacteurs. ⁶⁶

Plusieurs obstacles entravent la réussite du TT nucléaire. De toute évidence, ce type de transfert est très différent de celui des technologies industrielles classiques. Selon Laue :

« Tant en raison de sa complexité technique et des exigences exceptionnelles qu'il implique en matière de sécurité que des enjeux économiques que représente un programme nucléo électrique, il est impératif de disposer, dès le début de ce programme, de personnel hautement qualifié. Un tel programme nécessite normalement des délais d'exécution d'au moins 10 ans. »⁶⁷

Pour cette raison, l'une des stratégies mises en œuvre par l'AIEA dès 1975, afin d'assurer le transfert réussi de ces technologies, fut la promotion d'une série de cours et de formations visant à encourager l'échange de connaissances issues des expériences de planification de

⁶³ Hans Jörg Laue, « L'énergie d'origine nucléaire et le transfert de technologies », *Bulletin de l'AIEA* 24, no. 4 (1982) : 19.

⁶⁴ Ibid.

⁶⁵ Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), *Les réacteurs de recherche*, consulté le 25 mars 2025, AIEA, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.

⁶⁶ Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), *Operational Reactors by Country*, consulté le 20 mars 2025, AIEA, <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.

⁶⁷ Laue, « L'énergie d'origine nucléaire et le transfert de technologies », 19.

programmes nucléaires électriques, ainsi que l'exécution de projets et la mise en service de centrales nucléaires ⁶⁸. L'agence a également commencé à envoyer un nombre croissant de missions dans divers pays pour former et perfectionner les professionnels du secteur.

Au sujet des limites du transfert de ces technologies vers les pays en développement, les observations écrites par Amado Cissé, président du Conseil des gouverneurs de l'AIEA en 1977 sont pertinentes :

« Lorsqu'on examine dans son ensemble le problème du transfert des techniques nucléaires, la difficulté qui se présente à l'esprit des planificateurs et des dirigeants est le peu de rapport qu'il y a entre le développement des techniques dans les pays avancés et les problèmes que les pays en développement ont à résoudre (...) dans le cas des techniques nucléaires, leur emploi exige d'énormes capitaux, un haut niveau de connaissances, une organisation complexe de l'enseignement et aussi une industrie très développée, capable de fournir les services d'entretien et d'appui nécessaires. » ⁶⁹

La première étape, sans aucun doute, consiste à former le personnel. Compte tenu de la haute complexité technique de cette technologie, disposer de professionnels bien formés est une condition *sine qua non*. D'autres conditions pour que ces transferts réussissent sont liées au développement industriel, aux infrastructures disponibles et au financement qui permet la continuité de ces programmes. C'est ici que les accords bilatéraux sont indispensables, car souvent les pays en développement ne disposent pas des moyens pour financer ces projets coûteux. Ce sont alors les pays fournisseurs qui assument les coûts initiaux en accordant des prêts ou en signant des accords, permettant ainsi de récupérer leur investissement à travers les bénéfices futurs des installations.

Ces contrats bilatéraux représentent généralement un engagement ferme de coopération technique et administrative de la part du pays fournisseur de la technologie et du pays destinataire, une situation qui peut conduire à une centralisation des capacités technologiques.

L'Argentine et le Brésil offrent un exemple intéressant, puisqu'à travers leur coopération bilatérale, ils ont réussi à établir l'infrastructure industrielle nécessaire pour leurs programmes nucléaires électriques respectifs.⁷⁰ Par ailleurs, cet article souligne un point

⁶⁸ Ibid., 21.

⁶⁹ Amadou Cissé, « Le transfert des techniques nucléaires », *Bulletin de l'AIEA* 19, no. 4 (1977), [19405380911 fr.pdf](#).

⁷⁰ Ibid.

important en lien avec la première partie de ce chapitre concernant l'importance de la coopération industrielle dans l'utilisation sécurisée de ces technologies :

« L'assistance aux pays en développement en matière de sûreté nucléaire devrait aller bien au-delà d'un simple transfert de technologie. »⁷¹

Par conséquent les organismes internationaux partagent des informations essentielles sur le fonctionnement des centrales nucléaires, fournissant des documents et des guides élaborés par des experts de renom international. À titre d'exemple, Cissé mentionne le règlement sur le transport de matières radioactives, dont la première version remonte à 1961, permettant des échanges rapides de ces matériaux à l'échelle internationale.⁷²

Les échanges de connaissances couvrent tout le cycle de cette technologie. Ainsi, l'AIEA a également aidé de nombreux pays à développer des technologies leur permettant de découvrir des gisements d'uranium, ainsi que d'assurer leur extraction et leur traitement, favorisant ainsi les relations commerciales des pays producteurs de matières premières ⁷³

3. L'énergie nucléaire, actualité et avenir. Les connaissances et la technique nucléaire au service de la lutte contre le changement climatique.

La technologie nucléaire, comme évoqué précédemment dans ce chapitre, possède une longue histoire d'entrelacement d'intérêts ayant influencé les échanges de connaissances au sein d'un groupe restreint de pays. Le transfert de ces technologies a été encadrée par des régulations strictes, tant par des organismes multilatéraux que par des institutions internationales, sans oublier les États-Unis, dont les intérêts en matière de sécurité nationale se mêlaient au maintien de leur influence mondiale.

Aujourd'hui, le contexte a changé, tout comme les intérêts et objectifs des différents organismes internationaux et de leurs signataires. Le changement climatique, le réchauffement global et les immenses quantités de gaz à effet de serre que produit notre société moderne ont conduit à la signature de divers traités et accords visant à prendre des mesures pour faire face à ces problématiques.

L'énergie nucléaire, en raison de sa faible émission de dioxyde de carbone, joue un rôle significatif dans cette discussion. Le transfert de cette technologie vers les pays en voie de

⁷¹ Ibid.

⁷² Ibid.

⁷³ Ibid.

développement trouve désormais des moyens de faciliter ces échanges, même si elle rencontre encore des résistances dans certaines régions.

Selon les paroles de Rafael Mariano Grossi, directeur actuel de l'AIEA :

« C'est à la COP28 que tout s'est accéléré, avec notamment l'inclusion de l'énergie nucléaire dans le premier bilan mondial approuvé lors de cette conférence (...) Après près de 30 ans de COP, l'énergie nucléaire a été, pour la première fois, explicitement mentionnée dans un résultat négocié. »⁷⁴

La transition énergétique et la nécessité de promouvoir la décarbonisation, telles qu'elles sont envisagées dans le premier bilan de l'accord de Paris, ont provoqué un véritable changement d'attitude envers l'énergie nucléaire. Selon l'AIEA, les capacités nucléaires pourraient être multipliées par 2,5 d'ici 2050.⁷⁵ Dans ce contexte, le conseiller principal de l'administration sortante des États-Unis, dirigée par John Biden, déclarait :

« Il est clair que le monde commence à reconnaître cette importante source d'énergie propre »⁷⁶

Un autre facteur pouvant encourager l'utilisation de l'énergie nucléaire, et par conséquent le transfert de cette technologie, concerne les besoins en électrification observés dans diverses régions du monde. En particulier en Afrique, où une grande partie de la population n'a pas accès à l'électricité et où la croissance industrielle et démographique accentue cette nécessité pour l'avenir. Selon José Naranjo, journaliste spécialisé dans l'Afrique occidentale :

« Le fossé énergétique est l'un des grands défis de l'Afrique en ce siècle. Dans la recherche de solutions, jusqu'à 17 pays ont manifesté un intérêt pour le développement de centrales nucléaires (...) beaucoup d'entre eux avec un soutien russe ou chinois »⁷⁷

⁷⁴ Rafael Mariano Grossi, « L'énergie nucléaire : un retour au réalisme », *La Revue de l'Énergie* 675 (2024) : 5-9, [L'énergie nucléaire : un retour au réalisme - La Revue de l'Énergie](#).

⁷⁵ International Atomic Energy Agency (IAEA), *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050* (Vienne: IAEA, 2024), [Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 | IAEA](#).

⁷⁶ Noelani Kirschner, *Le nucléaire à l'ère des petits réacteurs modulaires*, ShareAmerica, 2024 [Le nucléaire à l'ère des petits réacteurs modulaires - ShareAmerica](#).

⁷⁷ José Naranjo, « Afrique abraza la energía nuclear », *El País*, 25 février 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [África abraza la energía nuclear | Negocios | EL PAÍS](#).

L'un des principaux obstacles à l'adoption de cette technologie est lié à ses coûts élevés. Cependant, « la labélisation verte du nucléaire et son intégration dans les mécanismes de la finance dite "durable" peuvent servir d'incitation⁷⁸ pour trouver de nouvelles sources de financement. En Europe, la création de l'Alliance Européenne du Nucléaire, officialisée en 2023, a été un tournant clé dans ce processus, permettant l'intégration du nucléaire dans la taxonomie verte européenne⁷⁹

Suivant cet exemple, les États-Unis cherchent également des sources de financement pour promouvoir le secteur nucléaire, avec l'intention de contrer la grande part de marché que l'entreprise russe Rosatom a acquise grâce à ses modalités de financement. En septembre 2024, Rosatom fournissait 19 des 21 réacteurs nucléaires exportés et en construction dans le monde.⁸⁰ En effet, une partie de la communauté scientifique considère les centrales nucléaires comme des instruments de projection de pouvoir à l'étranger.⁸¹

Dans le premier chapitre consacré au TT, j'ai mentionné que certains mécanismes créaient une situation de dépendance entre les pays importateurs de technologie et ceux qui la fournissaient. Dans le cas des réacteurs nucléaires de Rosatom, cette situation est évidente, car souvent l'achat de cette technologie est soumis à l'utilisation de combustible russe pendant toute la durée de vie du réacteur.

Un exemple de cette situation peut être observé dans la dépendance des réacteurs situés dans les pays européens qui appartenaient à l'Union soviétique. Cette situation, dans un contexte géopolitique de méfiance entre les puissances occidentales et la Russie, a contraint l'Union Européenne à promouvoir des recherches visant à relancer la production de ce type de combustibles, appelés VVER.

« De nombreux pays d'Europe de l'Est dépendent fortement de l'électricité produite par les réacteurs à eau pressurisée VVER-440 de conception russe. Actuellement, la société russe TVEL est l'unique fournisseur de combustible nucléaire pour ces installations. C'est pourquoi le projet ESSANUF (*European Supply of Safe Nuclear Fuel*) financé par l'UE a été lancé dans

⁷⁸ Teva Meyer, « L'énergie nucléaire : un bel avenir ? », *Politique étrangère* 4, no. 244 (2024) : 71-83, [L'énergie nucléaire : un bel avenir ? | Cairn.info](#).

⁷⁹ Ibid.

⁸⁰ Ibid.

⁸¹ Ibid.

le but de concevoir un combustible de pointe pour les réacteurs VVER-440, qui serait parfaitement conforme aux normes de sécurité nucléaire »⁸²

D'autre part, les échanges de connaissances que Rosatom promeut, peuvent certainement avoir pour objectif de renforcer l'influence internationale de la Russie, au-delà des intérêts commerciaux.

« La vente de réacteurs est précédée d'accords de coopération visant à former le personnel administratif et technique du pays importateur dans le cadre de voyages d'études et d'échanges universitaires (...) permettant de former de futurs lobbyistes de la vision russe. »⁸³

L'auteur de l'article poursuit son affirmation en fournissant des chiffres qui appuient l'idée des échanges de connaissances comme stratégie d'influence internationale russe :

« En 2023, plus de 2 000 étudiants étrangers provenant de 65 pays différents ont été accueillis en Russie dans un cursus d'ingénierie. Enfin, les exportations servent de vecteur de soft power (...) permettant à la Russie de diffuser ses propres normes de gouvernance du nucléaire. »⁸⁴

Un autre outil utilisé par l'entreprise russe pour conquérir des marchés est la possibilité de prendre en charge les déchets radioactifs des réacteurs qu'elle exporte, pour récupérer une partie du matériau fissile. Cela n'est pas possible dans les pays européens ni aux États-Unis, qui interdisent l'importation de ces déchets.

Quant aux États-Unis, engagés dans cette course technologique et à la recherche de marchés, outre le financement et la diplomatie technologique, ils utilisent le pouvoir des brevets et leur propriété pour freiner certains acteurs concurrents.⁸⁵ Cela dit, une part de cette course technologique et d'innovation dans le secteur nucléaire réside aujourd'hui principalement dans le développement des *Small Modular Reactors* (SMR).

« L'avènement des réacteurs modulaires fabriqués en série représente un changement de paradigme. De plus, les brevets permettent de matérialiser la valeur économique des innovations pour attirer des investisseurs. (...) Ces douze dernières années, 26 % de l'ensemble

⁸² CORDIS, *La sécurité de l'approvisionnement en combustible de l'UE assurée pour les réacteurs nucléaires*, CORDIS, 2025, [Passer d'une source de combustible à une autre pour un approvisionnement constant en énergie verte | SWITCH Project | Résultats en bref | H2020 | CORDIS | Commission européenne](#).

⁸³ Meyer, « L'énergie nucléaire : un bel avenir ? ».

⁸⁴ Ibid.

⁸⁵ Ibid.

des brevets relatifs aux réacteurs avancés ont été octroyés à des entreprises américaines; suivent la Russie (19 %), la Corée du Sud (17 %) et la France (10 %). »⁸⁶

Comme mentionné auparavant, le financement de ces technologies constitue l'un des principaux défis lorsqu'il s'agit d'en envisager le développement et la mise en œuvre. Toutefois, l'essor des SMR et l'intérêt croissant qu'ils suscitent ouvrent de nouvelles opportunités pour les investisseurs :

« La technologie des petits réacteurs modulaires, moins chers et potentiellement moins complexes à construire que les grands réacteurs, semble particulièrement attirer l'attention des banques multilatérales de développement (BMD). »⁸⁷

Au-delà des banques s'ajoutent les grandes entreprises technologiques, qui disposent de vastes capacités de financement et nécessitent de l'énergie pour alimenter leurs infrastructures de données et le développement de l'intelligence artificielle.

Comme évoqué précédemment, l'intérêt que suscite la technologie nucléaire est croissant dans de nombreux pays d'Afrique. Selon Naranjo, les technologies SMR, une fois leur utilisation approuvée et leurs projets concrétisés, leur application en Afrique « se configurent comme une alternative mieux adaptée aux pays qui ne disposent pas d'un réseau électrique très développé ou spécifiquement destinées à l'exploitation minière ou au dessalement de l'eau. »⁸⁸

Je vais approfondir l'analyse de la technologie SMR et les raisons pour lesquelles elle est perçue par divers acteurs comme une réponse stratégique aux défis d'approvisionnement énergétique, dans le contexte global de lutte contre le changement climatique. Mais avant cela, je considère qu'il est pertinent de mentionner brièvement l'évolution des réacteurs nucléaires.

Il existe quatre générations de réacteurs nucléaires. La première englobe les réacteurs développés entre les années 1950 et 1970, caractérisés par une faible efficacité énergétique et des mesures de sécurité limitées. La majorité des réacteurs actuellement en fonctionnement appartiennent à la deuxième génération. Conçus entre 1970 et 1990, ces réacteurs disposent de systèmes de refroidissement plus avancés et d'une durée de vie prolongée (en moyenne 40 ans). Les réacteurs de troisième génération « ne constituent pas une rupture technologique mais ont intégré les retours d'expérience et accru les dispositifs de sécurité. L'objectif de la 3ème

⁸⁶ Ibid.

⁸⁷ Grossi, « L'énergie nucléaire : un retour au réalisme ».

⁸⁸ José Naranjo, « Afrique abraza la energía nuclear ».

génération est d'éviter, même en cas d'accident grave, l'évacuation des populations au voisinage de la centrale. » ⁸⁹ Ces réacteurs utilisent des systèmes de sécurité passifs qui fonctionnent sans intervention humaine. Enfin, les réacteurs de quatrième génération, les SMR, sont encore en phase de recherche. Cependant, il convient de souligner qu'il en existe actuellement un en fonctionnement en Russie : la centrale nucléaire flottante *Akademik Lomonosov*, connectée au réseau électrique en 2019. En Chine le *Linglong One* est en cours de construction et de tests, avec une entrée en service envisagée en 2026. En Argentine, existe le CAREM-25 aussi en construction, et j'aborderai son analyse plus en détail dans le prochain chapitre. Au total, il existe plus de 70 designs de SMR à différents stades de développement dans le monde. ⁹⁰

Ces réacteurs, parmi distincts avantages, utiliseront des systèmes de sécurité passifs et proposent une utilisation plus efficace du combustible :

« Ces designs nécessitent de recharger le combustible moins fréquemment, tous les 3 à 7 ans, contre un intervalle de 1 à 2 ans pour les centrales conventionnelles. Dans certains cas, ils sont conçus pour fonctionner jusqu'à 30 ans sans besoin de recharger le combustible. » ⁹¹

Les recherches et le développement des SMR sont menés dans le cadre de différents accords multiples entre entreprises privées, États et autres acteurs. D'autre part, il existe un forum international qui promeut l'échange de connaissances sur ces technologies, le Forum International de la Génération IV, auquel participent 13 pays :

« Créé en 2001, le Forum International de la Génération IV (GIF) a été créé en tant qu'effort international coopératif visant à développer les recherches nécessaires pour tester la faisabilité et la performance des systèmes nucléaires de quatrième génération (systèmes Gen-IV) et à les rendre disponibles pour un déploiement industriel d'ici 2030. » ⁹²

⁸⁹ Planète Énergie, « Les réacteurs nucléaires de demain », *Total Énergie*, s.d., [Les réacteurs nucléaires de demain | Planète Énergies](#).

⁹⁰ IAEA, « Pequeños reactores, gran potencial », *IAEA Bulletin*, 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [Pequeños reactores, gran potencial | OIEA](#).

⁹¹ Irena Chatzis, « ¿Son los reactores modulares pequeños un desafío para la gestión del combustible ? », *Boletín del OIEA*, 2019, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [6021111_es.pdf](#).

⁹² Generation IV International Forum (GIF), *Welcome to the Generation IV International Forum*, s.d., traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [Welcome to the Generation IV International Forum | GIF Portal](#).

Ce type de réacteur présente d'autres avantages, dues en partie à leur taille et à leur faible puissance :

« Fabriqués en usine, ils pourront être transportés vers des sites isolés, placés sur des navires ou utilisés pour les besoins d'une usine en électricité ou en chaleur »⁹³

Face à un marché énergétique en pleine expansion, les SMR pourraient jouer un rôle stratégique dans la transition énergétique mondiale, et leur développement est suivi de près par de nombreux acteurs internationaux. En effet, ces projets offrent de nouvelles possibilités de coopération scientifique, dans lesquelles les pays plus avancés et leurs entreprises peuvent aider les pays émergents à accéder à cette technologie. En partageant leurs connaissances techniques et scientifiques, les pays développés peuvent contribuer activement à la lutte contre le changement climatique, tout en consolidant leur influence internationale :

« Les entreprises américaines, qui développent les technologies d'énergie nucléaire les plus avancées et les plus sûres présentes sur le marché, apportent leur concours en aidant les partenaires internationaux à construire de petits réacteurs modulaires »⁹⁴

Dans la poursuite des objectifs de décarbonation et du renforcement de la souveraineté énergétique des pays alliés, les États-Unis, sous l'administration Biden, ont promu l'utilisation de l'énergie nucléaire. Pour cela, ils ont lancé le programme FIRST (*Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology*), dont l'objectif est d'aider les pays qui n'ont jamais utilisé ce type de technologies :

« FIRST est un programme de renforcement des capacités conçu pour approfondir les liens stratégiques, soutenir l'innovation énergétique et promouvoir la collaboration technique avec les nations partenaires sur une infrastructure énergétique nucléaire sûre et sécurisée (...) Cette coopération inclut le soutien au déploiement de technologies nucléaires avancées, y compris les petits réacteurs modulaires (SMR), d'une manière conforme à l'approche par étapes

⁹³ Planète Énergie, *Les réacteurs nucléaires de demain*, Total Énergie, s.d., actualisé le 23 octobre 2023, consulté le 2 avril 2025 [Les réacteurs nucléaires de demain | Planète Énergies.](#)

⁹⁴ Kirschner, *Le nucléaire à l'ère des petits réacteurs modulaires*.

de l'Agence internationale de l'énergie atomique pour la mise en œuvre d'un programme énergétique nucléaire responsable. » ⁹⁵

Ce type d'initiatives, qui promeuvent l'échange de connaissances, est essentiel pour le futur développement du secteur nucléaire dans de nombreux pays. Par exemple, bien que les SMR présentent des avancées en matière de sécurité, ils produisent toujours des déchets radioactifs, et le traitement de ces résidus est l'une des étapes critiques dans le cycle de l'énergie nucléaire.

« Les pays qui n'ont pas encore utilisé l'énergie nucléaire devraient examiner soigneusement la gestion du combustible usé et établir une infrastructure pertinente tout en travaillant à l'implantation de l'énergie nucléaire » ⁹⁶

Jusqu'ici, j'ai mis en avant plusieurs avantages des SMR dans le contexte du réchauffement climatique et de la transition énergétique, ainsi que les initiatives de coopération internationale visant à favoriser l'échange de connaissances sur cette technologie. Mais je voudrais faire une brève parenthèse concernant leur mise en œuvre à l'avenir. Malgré les défis réglementaires et techniques que cette technologie doit surmonter avant une adoption à grande échelle, les géants du numérique, tels que Google, Microsoft, Amazon et d'autres, réalisent déjà d'importants investissements dans différents projets pour disposer de cette technologie à court terme. Cela vise à alimenter les centres de traitement de données, qui nécessitent de grandes quantités d'énergie pour fonctionner, tout en décarbonisant leurs sources d'énergie. Mais, les énergies renouvelables en raison de leur intermittence présentent certaines limitations que l'énergie nucléaire peut compenser :

“ L'éolien et le solaire ne sont pas suffisamment fiables seuls, et, pour les besoins énergétiques les plus importants, consolider cette production intermittente avec des batteries de secours est coûteux, difficile et risqué. La confluence de ces facteurs pousse l'industrie des centres de données à envisager l'énergie nucléaire pour certaines situations ” ⁹⁷

⁹⁵ World Nuclear News, *US State Department launches SMR support programme*, 29 avril 2021. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [US State Department launches SMR support programme - World Nuclear News.](#)

⁹⁶ Irena Chatzis, « ¿Son los reactores modulares pequeños un desafío para la gestión del combustible ? », *Boletín del OIEA*, 2019, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [6021111_es.pdf](#).

⁹⁷ John Warden et Ruediger Koenig, «Data Centers: A New Dawn for Nuclear Energy», *International Journal for Nuclear Power* 2 (2025): 45-52, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [atw-2025-2 Data-Centers.pdf](#).

Chapitre 3. Le cas du développement nucléaire en Argentine.

1. Histoire nucléaire de l'Argentine, l'échange de connaissances et les restrictions internationales comme moteur de développements technologiques propres.

La recherche, l'innovation et la création de technologies requièrent des ressources humaines et financières dont disposent principalement les pays les plus avancés, cette situation favorise une concentration des connaissances scientifiques et techniques. Cette asymétrie confère à ces pays un contrôle stratégique sur ces technologies et leur transfert en fonction de leurs intérêts géopolitiques, de la concurrence commerciale ou technologique, de la sécurité nationale, ou encore de leur influence sur la scène internationale. Ainsi, la science et la technologie, comme l'échange de connaissances, jouent un rôle central dans le développement des dynamiques internationales.

« La centralité de la science et de la technologie (S&T) dans la dynamique actuelle des relations internationales est de plus en plus évidente, étant devenues un atout crucial du hard power et de la conception de politiques publiques depuis le milieu du XXe siècle. »⁹⁸

Mais que se passe-t-il lorsqu'un pays qui ne fait pas partie du groupe des nations développées mène des recherches pour maîtriser des technologies stratégiques, alors que les échanges de connaissances sont sérieusement limités par les intérêts géopolitiques dans un environnement technologique asymétrique ? L'Argentine et l'histoire du développement de son secteur nucléaire en sont un exemple significatif.

Dans le premier chapitre, j'ai abordé l'influence des intérêts géopolitiques sur les échanges de connaissances et les transferts de technologies. Dans le second, j'ai choisi de me pencher sur le développement des technologies nucléaires et leur application dans le secteur civil pour illustrer ces dynamiques. Maintenant, je souhaite conclure ce travail final en analysant le développement du secteur nucléaire argentin et son projet SMR CAREM-25, afin d'illustrer comment les échanges de connaissances ainsi que les différentes contraintes internationales ont impacté le développement de cette technologie dans le pays.

⁹⁸ Carolina Acosta et María Nevía Vera, « Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía ? », dans *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo*, sous la direction de María Paz López, chap. 5 (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2023), traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía?](#)

Avant d'entamer cette brève rétrospective historique sur le développement nucléaire argentin, il convient de souligner que, dans ses premières phases, les États-Unis se méfiaient de l'Argentine et cherchaient à limiter ses avancées en matière de recherches et de développements technologiques dans ce domaine :

« (...) Les États-Unis tentaient de faire avancer à la Commission de l'énergie atomique de l'ONU le projet proposé en 1946 par Bernard Baruch – connu sous le nom de “Plan Baruch” –, qui prévoyait l'application de sanctions sévères contre les nations cherchant à développer des programmes atomiques “illégaux”, comme ce serait le cas de l'Argentine, selon ce que New Republic tentait de démontrer. »⁹⁹

Cela étant posé, Il est important de noter que le développement nucléaire argentin n'a pas commencé de la meilleure manière, comme nous le verrons plus tard. La Seconde Guerre mondiale venait de se terminer, et les pays vainqueurs – les États-Unis, l'URSS et l'Angleterre – rivalisaient pour s'approprier les meilleurs scientifiques allemands, l'Opération *Paperclip* des États-Unis est un exemple emblématique. Ces scientifiques possédaient des connaissances avancées dans les domaines des technologies nucléaires et spatiales, qui pouvaient être précieuses dans la course technologique et militaire qui se profilait à l'horizon : la Guerre froide.

Dans cette quête pour contrôler les connaissances développées en Allemagne et s'approprier des technologies stratégiques, les puissances s'affrontaient pour recruter les meilleurs chercheurs.

« Même avant la fin des hostilités en Europe, les forces spéciales américaines et britanniques ont été envoyées en Allemagne pour traquer des spécialistes, des scientifiques et des techniciens (...) Les forces spéciales soviétiques et françaises ne tardèrent pas à rejoindre ce processus ; tout comme leurs rivaux et collègues, leur intérêt initial se concentra sur des domaines spécifiques de recherche. »¹⁰⁰

⁹⁹ Diego Hurtado et Pablo Souza, « Los inicios de la física experimental en la Argentina de Perón (1946-1955) : interacionalismo académico, sectores estratégicos y presiones geopolíticas », *Pasado Abierto* 10 (2019) : 48–65, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur.

<https://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/pasadoabierto/article/view/3637/3749>.

¹⁰⁰ Ruth Stanley, «Transferencia de tecnología a través de la migración científica: ingenieros alemanes en la industria militar de Argentina y Brasil (1947-1963)», *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* 1, no. 2 (2004): 21-46, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, [-00132004000100002&script=sci_arttext](#).

À cette époque, certains chercheurs allemands ont choisi de partir en Argentine et d'autres au Brésil. Bien que leur nombre soit incomparable à ceux qui se sont établis dans les pays alliés – 3 000 en URSS, 1 600 aux États-Unis, 800 en France, 300 en Angleterre, 120 en Argentine et 27 au Brésil¹⁰¹ – ils ont contribué à des avancées technologiques dans des secteurs clés.

L'un de ces chercheurs, dans ce cas autrichien, qui est arrivé en Argentine, était Ronald Richter. En 1939, il s'était installé en Allemagne pour fonder son propre laboratoire, qu'il incendia avant l'arrivée des troupes russes à Berlin, puis il s'enfuit en Allemagne de l'Ouest. Bien qu'il ne soit pas un scientifique de renom, les États-Unis tentèrent de l'embaucher, mais selon Richter lui-même, il refusa car ils ne lui permettaient pas d'amener son chat, Epsilon. Le chercheur autrichien arriva en Argentine le 16 août 1948 et, dès le huitième jour, il eut sa première réunion avec le président Juan Domingo Perón, à qui il exposa son plan pour générer des réactions nucléaires de fusion contrôlée.¹⁰²

Dans une période de forte croissance économique, le pays avait besoin de sources d'énergie, et le nucléaire apparaissait comme une option intéressante pour Perón. Cela a pu être l'un des motifs qui influença la décision du premier dirigeant de fournir tout le soutien politique et les financements nécessaires pour que Richter atteigne son objectif : une fusion nucléaire contrôlée.

Dans ce contexte, le 31 mai 1950, le gouvernement péroniste a créé la CNEA (*Comisión Nacional de Energía Atómica*), la Commission Nationale de l'Énergie Atomique. Parmi les responsabilités de cet organisme figurent la génération d'énergie nucléaire à grande échelle, la recherche fondamentale et appliquée dans des secteurs stratégiques, le transfert de technologies vers le tissu productif et la formation de ressources humaines hautement spécialisées, entre autres.¹⁰³

La recherche de secret et de sécurité exigée par Richter pour ses travaux l'a conduit à choisir un endroit isolé en Patagonie pour construire son laboratoire : l'île Huemul, située au milieu du lac Nahuel Huapi, dont la ville la plus proche est San Carlos de Bariloche. Sur cette île, le premier bâtiment de réacteur en Argentine a été construit, mais il fut ensuite démoli sur ordre de Richter. La visite de Perón et de son épouse sur l'île, ainsi que l'énorme flux de fonds

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Diego Hurtado, *La Argentina potencia atómica: Una historia de la política nuclear (1945-2001)* (Siglo XXI Editores, 2021), traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur.

¹⁰³ Comisión Nacional de Energía Atómica, *73 años de tecnología nuclear al servicio del país*, s.d., traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/73-anos-de-tecnologia-nuclear-al-servicio-del-pais>.

financiers et de ressources humaines consacrés au projet, ont exercé une pression croissante sur Richter pour qu'il présente des résultats.¹⁰⁴ Ainsi, le 16 février 1951, un essai a été réalisé, donnant lieu à une annonce historique dans la presse :

« Avec Richter à ses côtés, Perón annonça : “Le 16 février 1951, à la centrale pilote d'énergie atomique, à San Carlos de Bariloche, des réactions thermonucléaires contrôlées ont été réalisées à une échelle technique.” »¹⁰⁵

Cependant, cette importante annonce ne correspondait pas à la réalité. Après que Richter eut ordonné la construction d'un réacteur souterrain pour ensuite le remplir, le président de la CNEA de l'époque, doutant des résultats du scientifique, demanda à Perón d'envoyer une commission d'enquête composée de scientifiques et de techniciens argentins afin de vérifier les progrès et affirmations de Richter.

« Le rapport de la commission fut accablant. Il n'y avait aucun indice scientifique que ces observations aient été réellement causées par des réactions nucléaires. »¹⁰⁶

Après avoir confirmé l'exactitude de ce rapport, le Président ordonna l'arrêt du projet Huemul et ne revit plus Richter. Tous les équipements furent transférés sur le continent et les infrastructures de l'île furent abandonnées. Cependant, la ville de Bariloche, située en face de cette île, devint un pôle académique et technologique, plaçant l'Argentine parmi les pays les plus avancés en technologie nucléaire aujourd'hui.

« Malgré son coût de 31 467 942 U\$S en valeur de 2021 et l'opprobre international auquel le gouvernement argentin fut exposé (...) des institutions d'une importance vitale et d'une renommée mondiale virent le jour, comme la Commission Nationale de l'Énergie Atomique, le Centre Atomique Bariloche et l'Institut Balseiro. »¹⁰⁷

La technologie nucléaire en Argentine, comme on peut l'observer, a eu un début assez malheureux, mais dans les années suivantes, le savoir et ses échanges sont devenus le pivot de futurs plans axés sur la formation de personnel spécialisé.

¹⁰⁴ Hurtado, *La Argentina potencia atómica*.

¹⁰⁵ Hurtado et Souza, « Los inicios de la física experimental », 1–30.

¹⁰⁶ Hurtado, *La Argentina potencia atómica*.

¹⁰⁷ Ibid.

« À cette fin, plusieurs professionnels ont étudié dans des laboratoires européens et nord-américains, et la venue de nombreux spécialistes étrangers a été encouragée. »¹⁰⁸

Les échanges de connaissances à cette époque ont également été, en partie, le résultat des bonnes relations entre les scientifiques argentins et leurs collègues d'autres pays, dont certains ont choisi de voyager vers le pays sud-américain pour donner des cours de formation.

« En septembre 1954, Balseiro a rencontré le scientifique allemand spécialiste des micro-ondes Wolfgang Meckbach. Tous deux avaient alors 35 ans. Dans les années qui suivirent, en tant que professeur à l'Institut de Physique de Bariloche, Meckbach s'est consacré à promouvoir le développement de la physique des collisions atomiques et est devenu un expert en accélérateurs électrostatiques. Durant cette période de floraison et d'expansion de la physique nucléaire au niveau mondial, la CNEA a réussi à établir des contacts avec les instituts d'Uppsala et de Stockholm, et a reçu la visite de certains physiciens, dont plusieurs sont passés par Bariloche (...) »¹⁰⁹

En parallèle à ces échanges de savoir, les premiers cours et parcours académiques ont été créés pour former des professionnels destinés à un secteur nucléaire naissant. Dès 1953, le premier cours sur les Réacteurs Nucléaires avait été dispensé et la chaire de Chimie Nucléaire avait été créée à la Faculté des Sciences Exactes de l'UBA, en collaboration avec la CNEA. En 1955, l'Institut Balseiro a été fondé, et avec lui, la Licence en Physique fut inaugurée.¹¹⁰

Cette même année, en 1955, s'est tenue la première Conférence Internationale sur les Usages Pacifiques de l'Énergie Nucléaire à Genève. L'Argentine y a participé en présentant 37 travaux scientifiques sur les gisements d'uranium, l'utilisation des radio-isotopes en médecine et la production et caractérisation d'une vingtaine de ces derniers – produit des recherches réalisées par le *Grupo Buenos Aires* –.

Les connaissances générées à travers ces échanges, ainsi que la formation promue par l'État de physiciens, ingénieurs et techniciens, ont eu pour résultat que, entre 1958 et 1967, trois réacteurs nucléaires de recherche ont été mis en marche. Ces réacteurs, dont certains designs

¹⁰⁸ Roberto Ornstein, «CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa», *Revista de la CNEA* 37-38 (janvier-juin 2010), traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, disponible sur ECEN, [untitled](#).

¹⁰⁹ Hurtado et Souza, « Los inicios de la física experimental », 1–30.

¹¹⁰ Comisión Nacional de Energía Atómica, *Década 1950/1959*, s.d., consulté le 1 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, <https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia/decada-19501959>.

avaient été élaborés à l'étranger, ont été projetés et adaptés aux besoins locaux. La production de radio-isotopes était l'un des objectifs de cette première étape, et en 1962, l'Argentine disposait déjà d'un programme de commercialisation.

« Pour faire face à la croissance de la demande – l'Argentine – a décidé la construction d'un réacteur d'irradiation de plus grande puissance et d'une usine spécialement conçue pour la production de radio-isotopes. »¹¹¹

Durant cette période, l'Argentine a signé divers accords de coopération pour l'utilisation pacifique de la technologie nucléaire, parmi lesquels ceux de 1962 avec les États-Unis et Euratom (Europe). Ici, je voudrais ouvrir une brève parenthèse en lien avec le chapitre précédent. La signature d'accords et de traités en matière nucléaire a promu la coopération et les échanges de connaissances entre différents pays, mais a également servi de mécanisme de contrôle et de suivi des développements technologiques par les grandes puissances internationales. L'Argentine a signé un total de 68 accords dans son histoire, dont 10 avec les États-Unis, 4 avec l'URSS (Russie), 3 avec la France, 3 avec le Brésil et 2 avec le Canada.¹¹²

En 1969, la séparation chimique du plutonium avait été réalisée, marquant une étape majeure dans la quête de l'autonomie technologique, et au milieu des années 70, la construction d'une usine pilote pour le retraitement des éléments combustibles irradiés avait commencé.¹¹³

En 1974, la Centrale Nucléaire Atucha 1 fut mise en service, construite avec une technologie fournie par l'entreprise allemande Siemens. Cet événement a marqué l'entrée de l'Argentine dans l'ère de l'énergie nucléaire. Par la suite, en 1976, un accord fut signé avec le Canada pour la construction d'une centrale nucléaire de type CANDU à Embalse, une technologie que les scientifiques argentins considéraient alignée avec les intérêts de souveraineté énergétique, car elle fonctionne avec de l'uranium naturel, une ressource disponible dans le pays. Afin d'acquérir de l'expérience pour les entreprises locales, il fut convenu que celles-ci se chargeraient des tâches de montage de la centrale, permettant ainsi aux ingénieurs et techniciens d'acquérir un important savoir-faire.¹¹⁴ Dans ce contexte, les activités scientifiques visant à maîtriser entièrement le cycle du combustible nucléaire se sont intensifiées, ce qui a conduit à une augmentation significative du budget de la CNEA.

¹¹¹ Ornstein, « CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa ».

¹¹² Comisión Nacional de Energía Atómica, *Historia*, s.d., consulté le 1 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia>.

¹¹³ Ornstein, « CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa ».

¹¹⁴ Ibid.

« En 1977, des politiques ont été définies dans le but d'atteindre l'autosuffisance et de développer un programme indépendant servant les intérêts nationaux. » ¹¹⁵

Plus tard, en 1980, la CNEA et l'entreprise allemande KWU ont signé des contrats pour la fourniture de matériaux et de services d'importation pour la construction de la troisième centrale nucléaire, Atucha II. Ce projet a été paralysé pendant plusieurs années avant d'être achevé en 2014.

Revenons à l'ordre chronologique, en 1978, l'Argentine a refusé de signer le Traité de Non-Prolifération, considérant que les conditions proposées représentaient de potentielles ingérences dans sa souveraineté technologique. Cette décision a entraîné de nouvelles tensions avec les États-Unis, pays qui a refusé de renouveler l'approvisionnement en uranium enrichi pour le réacteur de recherche RA-3, essentiel à la production nationale de radio-isotopes.

« L'approvisionnement en uranium enrichi se faisait à travers un accord avec les États-Unis, mais après l'adoption de la loi, ces derniers ont refusé de respecter cet accord à moins que l'Argentine ne place tout son programme nucléaire sous sauvegarde et ne renonce au développement de technologies sensibles. Dans un autre domaine d'application des techniques nucléaires, celui des isotopes, l'Argentine avait réalisé un développement important. » ¹¹⁶

Cette situation a représenté un véritable défi pour la CNEA, qui, en 1977, était en négociations pour concevoir et construire un réacteur de recherche au Pérou (RA-6). Finalement, la vente n'a pas pu se concrétiser en raison de l'incapacité de l'Argentine à fournir les combustibles nécessaires au réacteur.

Les énormes limitations imposées aux échanges de connaissances autour de cette technologie, ainsi que le strict contrôle exercé par les États-Unis sur son transfert, ont conduit les scientifiques et techniciens argentins à développer, en secret et sans assistance extérieure, une technologie propre, innovante et moins coûteuse. Ce fait fut annoncé par le président argentin Raúl Alfonsín en 1983.

¹¹⁵ Ibid.

¹¹⁶ Gustavo Barbarán, « Enriquecimiento. Por qué hay que hacerlo », *U-238*, 16 juillet 2014, consulté le 10 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, <https://u-238.com.ar/enriquecimiento-por-que-hay-que-hacerlo/>.

« (...) Non lié au Plan Nucléaire mais à la nécessité d'assurer l'approvisionnement en uranium enrichi pour la fabrication du combustible nucléaire destiné aux réacteurs de recherche propres et à ceux destinés à l'exportation – approvisionnement qui nous était refusé par notre fournisseur habituel pour des raisons politiques –, le développement de la technologie d'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse a été entrepris. Ce développement a été réalisé (...) par l'entreprise INVAP S.E., pour le compte de la CNEA, et achevé avec succès à un niveau pilote en 1983, constituant l'un des plus grands accomplissements de la technologie argentine... »¹¹⁷

L'exportation de réacteurs de recherche argentins s'est poursuivie après la signature d'accords avec l'Algérie, l'Égypte et l'Australie, par le biais d'INVAP, entreprise publique appartenant à la province de Río Negro. Cette entreprise de haute technologie est l'un des principaux moteurs du secteur nucléaire argentin. Actuellement, elle développe le Réacteur Multipurpose Brésilien et est responsable de la conception du Réacteur Pallas, en cours de construction aux Pays-Bas, dont l'objectif est d'augmenter la production de radio-isotopes médicaux. De plus, cette entreprise publique a participé à une dizaine de projets liés à la production et au développement de radiopharmaceutiques, comme l'inauguration d'une usine à Cuba en 1996.¹¹⁸

Jusqu'ici, il est évident que le développement de la technologie nucléaire en Argentine a été façonné par des intérêts géopolitiques nationaux et étrangers, ainsi que par des stratégies internationales visant à contrôler son accès en raison de son utilisation duale. Bien que le pays sud-américain ait développé cette technologie à des fins pacifiques, ses capacités ont été vues avec méfiance par différents acteurs de la scène internationale. Pour cette raison, les accords avec le Brésil en matière de contrôles et de sauvegardes mutuelles ont été fondamentaux.

Deux pays auparavant considérés comme adversaires se sont unis pour coopérer dans l'application de la technologie nucléaire de manière intégrée, au point de créer en 1991 l'ABACC (Agence Brésilienne-Argentine de Comptabilité et de Contrôle des Matériaux Nucléaires). Cela est considéré comme un jalon pour la diplomatie scientifique au niveau mondial. L'Argentine et le Brésil ont convenu d'un système de vérification mutuelle, renforçant ainsi la confiance et promouvant les échanges de connaissances et les recherches bilatérales. Il

¹¹⁷ Ornstein, « CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa ».

¹¹⁸ Comisión Nacional de Energía Atómica, «Década 1990/1999», s.f., récupéré le 1 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/institucional/decada-19901999>.

convient également de mentionner que cette politique conjointe a favorisé l'intégration commerciale et industrielle entre les secteurs nucléaires des deux pays.

« En matière de diplomatie nucléaire, l'Argentine a cimenté sa projection régionale grâce à son alliance avec le Brésil, par son action conjointe sur le plan international, le renforcement des institutions bilatérales comme l'ABACC et la création de nouvelles, telles que le Comité Binational de l'Énergie Nucléaire (COBEN). » ¹¹⁹

Dans les années 90, le gouvernement argentin a adopté une position d'alignement diplomatique avec les États-Unis, et en 1994, un accord a été signé entre la CNEA et le Département de l'Énergie des États-Unis concernant la « recherche et développement sur le contrôle des matières nucléaires, comptabilité, vérification, protection physique et surveillance technologique pour l'application des sauvegardes. » ¹²⁰

En 1995, le pays a adhéré au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires. Et au cours de cette même décennie, en 1999, la loi de financement du réacteur SMR CAREM a été promulguée, dont la construction ne commencerait qu'en 2014. Plus tard, en 2002, la CNEA a réussi à produire régulièrement le radio-isotope molybdène 99 par fission en utilisant des cibles d'uranium faiblement enrichi, faisant de l'Argentine le premier pays à le réaliser.

Est possible citer d'autres secteurs où l'Argentine concentre ses recherches et a développé des techniques novatrices et des applications comme les diagnostics médicaux par ingénierie nucléaire et l'irradiation des aliments. Ainsi, l'Argentine s'est affirmée comme un acteur majeur du développement nucléaire, disposant et créant des technologies avancées dans ce domaine :

« Le capital intellectuel généré et accumulé par la CNEA a permis au secteur nucléaire argentin de concevoir, construire et exporter des réacteurs de recherche et de puissance, tout en respectant les normes de l'AIEA. » ¹²¹

En outre, l'Argentine bénéficie d'un soutien diplomatique international important en termes de neutralité et d'applications pacifiques de ces technologies.

Actuellement, le pays continue de former des professionnels en haute technologie, en promouvant les échanges avec d'autres pays, notamment en Amérique latine, ce qui fait de

¹¹⁹ Acosta et Vera, «Cooperación nuclear argentino-brasileña», chap. 5.

¹²⁰ Comisión Nacional de Energía Atómica, « *Década 1990/1999* ».

¹²¹ Comisión Nacional de Energía Atómica, « 73 años de tecnología nuclear al servicio del país ».

l'Argentine une référence dans le secteur nucléaire au niveau régional. Comme exemple, en 2016 ;

« Le Réacteur de recherche RA-6 commence à fonctionner comme nœud du projet "Internet Reactor Laboratory" de l'AIEA et effectue la première transmission d'expériences virtuelles dans le but de former des étudiants de toute l'Amérique latine. (...) Objectif de former des étudiants de toute l'Amérique latine. » ¹²²

Le cas du développement nucléaire en Argentine illustre comment les intérêts géopolitiques influencent les échanges de connaissances, au point de presque les restreindre complètement. Les limitations imposées en matière de transfert de technologie nucléaire ont eu pour conséquence que ce pays développe des techniques et des connaissances propres pour surmonter ces défis, en suivant son objectif d'atteindre la souveraineté technologique.

« L'est indéniable que la politique nucléaire argentine a été perçue avec méfiance dans certains pays leaders exportateurs de cette technologie (...) L'attitude restrictive qui s'en est suivie en matière de transfert de technologie nucléaire adoptée par ces pays a eu une conséquence inattendue de leur part : elle a forcé l'Argentine à développer par elle-même, au prix de considérables efforts, des techniques et des équipements que l'on refusait de lui fournir à l'extérieur. » ¹²³

2. Secteur nucléaire argentin, actualité et défis.

Comme je l'ai mentionné auparavant, la société moderne est confrontée à de nouveaux défis liés au changement climatique engendré par le réchauffement global. Ce réchauffement est en grande partie la conséquence de la production de gaz à effet de serre due à la utilisation de combustibles fossiles comme sources d'énergie. Dans ce contexte, promouvoir une transition énergétique vers des sources à faible production de CO₂ est indispensable, et l'énergie d'origine nucléaire se présente comme une alliée des sources d'énergie renouvelables. Par conséquent, les efforts financiers et de recherche dans ce secteur sont en augmentation, favorisant « un regain de l'option nucléaire dans les programmes de politiques publiques énergétiques de

¹²²Comisión Nacional de Energía Atómica, « *Década 2010/2019* » s.d., récupéré le 2 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia/decada_2010-2019.

¹²³ Ornstein, « CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa ».

plusieurs pays, comme une technologie possible de transition et de mitigation des effets du changement climatique. »¹²⁴

Ces efforts se déroulent en parallèle avec une concurrence commerciale et technologique entre les États-Unis et la Chine, dans leur tentative de conserver et d'étendre leur influence internationale dans divers secteurs, y compris le nucléaire. Acosta et Vera ont mené un travail de recherche ayant pour objectif « d'explorer comment la lutte pour l'hégémonie entre les États-Unis (et leurs alliés occidentaux) et la Chine affecte les décisions et les marges de manœuvre d'un pays semi-périphérique comme l'Argentine. »¹²⁵ L'analyse de cette œuvre est essentielle pour illustrer la manière à laquelle intérêts géopolitiques continuent d'influencer les échanges de connaissances ainsi que les décisions prises par les pays en matière de TT.

Il est intéressant d'observer comment les dynamiques liées à la production de connaissances et à l'influence internationale énoncées dans le premier chapitre se manifestent également dans le contexte moderne :

« (...) La Chine et les États-Unis ont fait de la conception de stratégies scientifiques et technologiques incluant une augmentation des investissements en matière de S&T l'un des axes principaux de leurs initiatives domestiques, avec un impact évident sur leurs politiques extérieures. »¹²⁶

Les avancées technologiques et l'expansion des marchés pour les produits chinois ont conduit les États-Unis à mettre en œuvre divers mécanismes pour contrer cette progression. Une augmentation des investissements en S&T, des tarifs douaniers, et des restrictions sur les investissements dans des secteurs stratégiques par les entreprises chinoises ont été quelques-unes des mesures. L'objectif serait d'éviter « le transfert forcé de technologie, le vol de propriété intellectuelle et la violation de brevets. »¹²⁷

Les avancées chinoises en technologie, ainsi qu'en capacité de production, sont évidentes, et le secteur nucléaire est également inclus dans ces développements. Actuellement, le pays asiatique compte 50 réacteurs, 18 en construction et d'autres prévus :

¹²⁴ Acosta et Vera, « Cooperación nuclear argentino-brasileña », chap. 5.

¹²⁵ Ibid.

¹²⁶ Ibid.

¹²⁷ Ibid.

« Selon un article publié par The Economist en 2021, la Chine prévoit la construction d'environ 150 réacteurs d'ici à 2035, dans le but de (...) devenir un exportateur nucléaire majeur pour les économies des pays en développement. » ¹²⁸

Comme évoqué précédemment dans le deuxième chapitre, Rosatom, entreprise russe, dispose d'une présence importante dans les pays en développement, avec la construction programmée de plusieurs réacteurs. D'un autre côté, la Chine, se présente comme un concurrent potentiel dans le secteur des réacteurs de haute puissance, ce qui a poussé les États-Unis à concentrer leurs efforts sur le développement des SMR, afin de couvrir ce segment du marché. À ce sujet, il convient de rappeler que l'Argentine développe la technologie SMR depuis les années 80 avec le CAREM-25.

« Dans le domaine de la compétition pour l'influence dans les usages pacifiques de l'énergie nucléaire, les États-Unis ont établi en 2021 le Programme First, (...) comme l'un des efforts centraux – du pays – pour promouvoir l'innovation dans l'application de technologies propres et établir une coopération mondiale sans précédent pour faire face à la crise climatique. » ¹²⁹

À ce moment de l'histoire marqué par la concurrence commerciale et technologique entre les États-Unis et ses alliés avec la Chine, l'Amérique latine joue un rôle stratégique. L'intérêt de la Chine pour cette région a augmenté ces dernières années, et ce pays est devenu « le premier partenaire commercial de nombreux pays latino-américains, en particulier sud-américains, dépassant ainsi les États-Unis et l'Europe. » ¹³⁰

Les secteurs de haute technologie n'ont pas été exclus des relations entre la Chine et les pays de la région. Un événement qui illustre cet intérêt pour les secteurs stratégiques comme le nucléaire est la publication du Plan d'action conjoint Chine-CELAC. Au point 4.5, l'un des objectifs stratégiques de ce plan est énoncé :

¹²⁸ Ibid.

¹²⁹ U.S. Department of State, « Report cited by the Senate Observatory for International Relations », s.d., cité dans Carolina Acosta et María Nevía Vera, « Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía? » dans *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo*, dir. María Paz López, chap. 5 (UNICEN, CEIPIL, 2023).

¹³⁰ Acosta et Vera, « Cooperación nuclear argentino-brasileña », chap. 5.

« Renforcer les échanges et la coopération dans l’usage civil pacifique de l’énergie nucléaire et de la technologie nucléaire, promouvoir des projets pratiques pertinents, partager des expériences et coopérer dans la formation de talents, et tirer parti des avantages qu’offrent la technologie et l’énergie nucléaires pour promouvoir le développement économique et le bien-être des personnes, ainsi que pour relever les défis du changement climatique. » ¹³¹

En 2014, l'Argentine, qui avait déjà établi d'importants accords commerciaux avec la Chine, a entamé des négociations pour la construction d'un réacteur de type Hualong, fonctionnant avec de l'uranium enrichi comme combustible. Cette décision a déclenché divers débats au niveau interne, qui, au-delà du geste diplomatique, impliquaient l'adoption d'une nouvelle technologie dans le fonctionnement des réacteurs. Une partie du secteur nucléaire considérait ce choix erroné, compte tenu de l'expérience acquise après des décennies d'utilisation de la technologie Candu, qui, de plus, fonctionne avec de l'uranium naturel.

« (...) cette grave erreur dans laquelle certains Argentins s'obstinent : vouloir abandonner cette ligne technologique de centrales, la seule que nous maîtrisons. Nous refusons de l'abandonner non seulement parce que nous la maîtrisons bien (...) Nous défendons cette ingénierie parce qu'elle garantirait des milliers d'emplois de qualité pour les Argentins (...) et minimiserait les dépenses en devises. L'uranium naturel est une substitution aux importations dans le domaine de la technologie nucléaire. » ¹³²

Un autre sujet dans la discussion était la décision de se rapprocher du géant asiatique au milieu des différends géostratégiques avec les États-Unis et le refus de la Chine de faciliter le TT, en permettant l'intégration d'entreprises et de professionnels argentins dans la conception et la construction de la centrale. Une stratégie qui, par le passé, avait permis au secteur nucléaire du pays sud-américain de progresser. De plus les connaissances en techniques modernes d'enrichissement pourraient être appliquées à la création de combustibles pour le CAREM-25 et à de futurs projets SMR.

¹³¹ « Plan d’action conjoint Chine-CELAC », cité dans Carolina Acosta et María Nevía Vera, « Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía? », dans *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo*, dir. María Paz López, chap. 5 (UNICEN, CEIPIL, 2023), traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur.

¹³² Ana Silvia Spivak L'Hoste, « “No hay futuro en abandonar nuestra historia nuclear” : nostalgia e imaginarios desarrollistas en una discusión sobre la energía nuclear en Argentina », *Runa* 43, no. 2 (2022) : 289–304, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [“No hay futuro en abandonar nuestra historia nuclear”: Nostalgia e imaginarios desarrollistas en una discusión sobre energía nuclear en Argentina.](#)

« Les contestations concernant le différend autour de la nouvelle centrale nucléaire chinoise tournaient autour du transfert de technologie impliqué dans la construction de l'installation (...) la dimension économique de l'accord (...) et l'aspect géopolitique de l'acquisition de la technologie chinoise dans le cadre du conflit entre la puissance asiatique et les États-Unis, en tenant compte (...) qu'il s'agirait de la première centrale nucléaire chinoise construite dans la région. (...) S'ajoutent à cela la réticence de la Chine à transférer la technologie d'enrichissement de l'uranium ou à permettre la participation de l'industrie nationale à la construction de la quatrième centrale... » ¹³³

En poursuivant cette analyse de l'état actuel du Plan Atomique argentin, il est clair que celui-ci a été influencé tant par des problèmes internes, tels que des changements de gouvernement avec des visions parfois opposées en matière d'alliances géopolitiques et de développement stratégique, que par des crises économiques successives et des discussions internes au secteur nucléaire. Les choix technologiques nationaux ont également été influencés par des facteurs externes, tels que la dette extérieure et l'impact des cadres économiques internationaux. De plus, il existait des pressions des États-Unis pour affaiblir les relations dans le secteur nucléaire avec le Brésil ou à empêcher des rapprochements commerciaux avec le secteur nucléaire chinois.

« Le gouvernement de Macri (2015-2019) a mené une politique étrangère d'alignement inconditionnel avec les États-Unis et, dans le domaine atomique, “la première chose qu’il a faite a été de sous-financer l'ABACC, cessant de payer la cotisation minimale nécessaire pour la maintenir, ce qui est qualifié comme une tentative de l'affaiblir. Cependant, l'accord avec la Chine a été maintenu. » ¹³⁴

L'administration suivante, avec Alberto Fernández comme président, a maintenu une vision stratégique du multilatéralisme et de la diversification des liens internationaux. Ainsi, le gouvernement argentin a conclu les négociations et signé l'accord avec la Corporation Nuclear Nationale de Chine (CNNC, *China National Nuclear Corporation*) pour la construction du

¹³³Acosta et Vera, «Cooperación nuclear argentino-brasileña», chap. 5.

¹³⁴ Diego Hurtado, cité dans Carolina Acosta et María Nevía Vera, «Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía?», dans *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo*, dir. María Paz López, chap. 5 (UNICEN, CEIPIL, 2023).

réacteur Atucha III, utilisant la technologie Hualong. Cet accord a été conclu malgré les priorités diplomatiques des États-Unis, qui ont redéfini certains axes de coopération régionale concernant l'Argentine.

« (...) depuis les années 1960, les États-Unis ont exercé des pressions explicites, implicites, formelles et informelles sur le développement nucléaire de l'Argentine. Aujourd'hui, ces pressions s'inscrivent dans le projet géopolitique américain visant à déconnecter l'Amérique latine de la Chine, dont l'objectif serait de consolider sa présence dans la région grâce à sa technologie nucléaire (entre autres), et pour cela, elle a choisi l'Argentine comme porte d'entrée. »¹³⁵

Cette affirmation prend de la substance si l'on considère que l'Argentine a reçu huit délégations de fonctionnaires américains entre avril 2022 et avril 2023.¹³⁶

Considérant l'importance de la relation avec le Brésil dans le secteur nucléaire, les différents accords de coopération ainsi que l'intégration des deux pays au niveau du commerce et des infrastructures pourraient représenter une échappatoire pour l'Argentine dans ce contexte géopolitique de lutte entre la Chine et les États-Unis.

« Premièrement, le Brésil dispose de la technologie d'enrichissement de l'uranium, ce qui pourrait être pertinent face au refus de la Chine de transférer cette technologie et compte tenu des besoins futurs du CAREM en ce combustible : dans ce scénario, le Brésil pourrait être le fournisseur d'uranium pour ce projet et pour les SMR argentins destinés à l'exportation. »¹³⁷

3. L'Argentine et son projet SMR, CAREM-25. L'avenir d'un projet pour l'autonomie technologique et l'opportunité de nouveaux marchés.

Du le général au plus spécifique, telle est la structure narrative que j'ai choisie pour organiser le matériel documentaire utilisé dans cet mémoire. La formulation des hypothèses suit une progression similaire. Dans cette dernière partie, je présenterai une analyse concernant le développement du projet SMR CAREM-25 de l'Argentine, qui, tout au long de son histoire,

¹³⁵ Acosta et Vera, «Cooperación nuclear argentino-brasileña», chap. 5.

¹³⁶ Ibid.

¹³⁷ Ibid.

a rencontré de multiples défis, mais continue à jouer un rôle essentiel dans le Plan nucléaire argentin, comme nous le verrons plus loin.

Le CAREM-25 illustre comment un pays en développement a pu surmonter les restrictions internationales en matière de transferts de technologie et de connaissances, en misant sur la formation de ressources humaines et le développement de ses propres technologies, devenant ainsi une référence internationale dans le secteur nucléaire, grâce à une expertise technique et à un consensus diplomatique.

La transition énergétique et la recherche d’alternatives ne produisant pas de gaz à effet de serre — comme les énergies renouvelables — présentent une intermittence due à la nature de leurs sources, tandis que l’énergie nucléaire s’avère être un complément intéressant. Cependant, la technologie nucléaire est très complexe, et la construction de grandes centrales implique des investissements considérables et, souvent, des retards dans leur réalisation. Face à cette problématique, l’avenir semble prometteur pour la Technologie SMR, qui consiste – entre autres avantages- à construire de petites centrales nucléaires capables de fournir de l’électricité à des régions isolées. La concurrence pour développer, produire et commercialiser ces réacteurs a commencé il y a quelques années, et il existe aujourd’hui de multiples projets. Selon l’AIEA, en 2021, il existait déjà une dizaine de projets SMR à différentes étapes.

« On dénombre plus de 80 modèles et concepts de RFMP dans le monde. Si la plupart en sont encore à différents stades de développement, certains d’entre eux seraient utilisables à court terme. À l’heure actuelle, quatre RFMP sont à un stade avancé de construction en Argentine, en Chine et en Russie, et plusieurs pays primo-accédants ou exploitant déjà l’électronucléaire mènent des travaux de recherche-développement sur ce type de réacteurs. »¹³⁸

En suivant des intérêts stratégiques, liés en partie à des alliances politiques et commerciales préexistantes, ces pays ont mis en place différentes stratégies pour rivaliser dans cette course au développement des SMR commerciaux.

¹³⁸ Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA). *Petits réacteurs modulaires*. Dernière modification le 15 juin 2021. Consulté le 20 mars 2025. <https://www.iaea.org/fr/themes/petits-reacteurs-modulaires>

« La Russie et la Chine présentent à cet égard une orientation relativement proche, avec parfois des coopérations plus ou moins solides (...) avec un fort capitalisme d'État. »¹³⁹

Ces pays peuvent être considérés comme les plus avancés dans cette technologie. En effet, la Russie possède déjà un SMR opérationnel :

« (...) l'unité d'énergie flottante Akademik Lomonosov en Fédération de Russie, connectée au réseau en décembre 2019 et ayant commencé son exploitation commerciale en mai 2020. Pour sa part, la Chine dispose de l'ACP100 en phase de conception. »¹⁴⁰

Les Etats-Unis, souhaitent jouer un rôle prépondérant dans le futur marché des SMR. Cependant, à la différence de la Russie et de la Chine, une grande partie des projets de SMR aux États-Unis appartient à des entreprises privées, qu'il s'agisse de grandes entreprises reconnues dans le secteur ou de plus petites qui ont émergé exclusivement pour concurrencer dans le domaine des SMR.

« Ainsi, aux côtés d'acteurs comme Westinghouse ou General Electric, d'autres entreprises se sont lancées dans la compétition, notamment avec des demandes de qualification des réacteurs auprès de la Nuclear Regulatory Commission (NuScale, Holtec International...). (...) Les États-Unis utilisent ici un modèle éprouvé de coopération public-privé avec un soutien public fort... »¹⁴¹

En Europe, la situation est complexe. Tandis qu'un groupe, avec la France en tête, se positionne comme pronucléaire, un autre groupe de pays, incluant l'Allemagne, l'Espagne et plusieurs autres, se déclare pro-énergies renouvelables. Cependant, des accords et alliances sont déjà en cours pour promouvoir le développement des SMR dans certains de ces pays. À titre d'exemple, on peut citer une initiative entre la France et l'Italie :

« L'EDF français, sa filiale italienne Edison et l'Organisme Italien de Recherche Nucléaire ont signé un mémorandum d'entente pour collaborer sur les applications industrielles

¹³⁹ Michel Derdevet et Nicolas Mazzucchi, « Les petits réacteurs modulaires, une nouvelle ère nucléaire ? Approche géopolitique et stratégique », *La Revue de l'Énergie*, no 657 (juillet-août 2021) : 45–57, <https://www.larevuedelenergie.com/wp-content/uploads/2021/10/Petits-reacteurs-modulaires-nouvelle-ere-nucleaire.pdf>.

¹⁴⁰ Jorge Salvador Zappino, «Ingeniería y desarrollo en el sector nuclear. El CAREM-25: primer reactor nuclear de potencia íntegramente argentino», *Cuadernos del INAP* 4, no. 125 (2023): 26. traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur, <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/article/view/382>.

¹⁴¹ Derdevet et Mazzucchi, « Les petits réacteurs modulaires ».

des mini-réacteurs nucléaires (...) L'accord prévoit des activités de formation et d'échange de connaissances entre chercheurs et doctorants. » ¹⁴²

D'autres projets de SMR existent également en Europe, notamment en Roumanie, qui appliquerait la technologie nord-américaine de NuScale¹⁴³, ou encore en Pologne, qui a récemment signé un accord pour développer un SMR avec l'entreprise Rolls-Royce.¹⁴⁴

Il est important de souligner que, bien qu'il existe de nombreux designs et projets de SMR en cours, l'approbation et la mise en œuvre des différentes étapes et contrôles varient selon les pays. Cela peut représenter un obstacle pour l'application de certaines technologies dans les différents États. Ainsi, l'AIEA promeut une initiative d'Harmonisation et de Normalisation Nucléaire (NHSI). Cette initiative vise à rendre, à l'avenir, la commercialisation et l'adoption de cette technologie moins complexes et plus sûres.

« L'harmonisation des approches facilite le commerce international des SMR et des composants, car les développeurs conçoivent et fabriquent des réacteurs qui respectent un ensemble de normes mondiales plus homogène, plutôt que d'avoir à répondre à une multitude d'exigences – parfois contradictoires – dans différents pays. » ¹⁴⁵

Cependant, comment se positionne l'Argentine et le développement de son SMR, CAREM-25 ? La compétition technologique est déjà en marche, et multiples sont les obstacles qu'a rencontrés ce projet dans sa progression depuis ses débuts en 1984. Mais le projet reste d'actualité, et comme je vais le développer par la suite, il représente une opportunité pour qu'un pays du Sud global concoure avec des développements propres sur un marché de haute technologie où les intérêts géopolitiques continuent d'exercer une grande influence. Selon le directeur de l'Institut de l'Énergie argentin, Javier Zulato, « le développement du CAREM-25

¹⁴² Rubén Esteller, « Francia e Italia se alían en el desarrollo de minirreactores nucleares mientras España cierra Almaraz », *El Economista*, 17 janvier 2025, consulté le 2 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/13176757/01/25/francia-e-italia-se-alian-en-el-desarrollo-de-minirreactores-nucleares-mientras-espana-cierra-almaraz.html>.

¹⁴³ EnergyNews, « NuScale déploiera ses 1ers SMR d'Europe en Roumanie », *EnergyNews*, 9 novembre 2021, consulté le 1 avril 2025. <https://energynews.pro/nuscale-deploiera-ses-1ers-smr-deurope-en-roumanie/>.

¹⁴⁴ EnergyNews, *Rolls Royce place un SMR 470MW en Pologne*, *EnergyNews*, 20 mai 2024, consulté le 1 avril 2025. <https://energynews.pro/la-pologne-approuve-un-projet-pour-le-nucleaire/>

¹⁴⁵ Rafael Mariano Grossi, *Plénière de la NHSI – juin 2023 – La réglementation des designs de réacteurs innovants*, cité dans Nayana Jayarajan et Volha Piotukh, *Réglementer les modèles de réacteurs innovants, Les innovations nucléaires au service du « zéro émission nette »*. Consulté le 2 avril 2025 <https://www.iaea.org/sites/default/files/6432425fr.pdf>

représente une opportunité stratégique pour que l'Argentine se positionne comme leader dans le domaine de la technologie nucléaire mondiale. » ¹⁴⁶

Cette décision de l'Argentine de concourir et continuer à développer la technologie représente également la position que les différents pays en développement peuvent adopter face à la transition énergétique. Nadia Luna a écrit une réflexion intéressante dans son article « *Souveraineté ou dépendance technologique ?* » qui illustre cette situation :

« Ces dernières années, de nombreux pays se sont lancés dans une nouvelle course géopolitique : le développement de technologies pour la transition énergétique. Ce panorama invite l'Argentine et d'autres pays latino-américains à se demander de quelle manière ils s'inséreront dans ce processus ; si cela se fait avec des technologies importées, cela pourrait approfondir la dépendance historique des pays du Nord... » ¹⁴⁷.

Dans sa présentation du CAREM¹⁴⁸, la CNEA commence par une introduction en relation avec la lutte contre le réchauffement climatique et les avantages que les SMR présentent face à une société dont la consommation énergétique ne cesse d'augmenter. Voici une liste des avantages mentionnés par la CNEA concernant l'utilisation des SMR :

- Designs simplifiés
- Schémas de sécurité optimisés
- Temps de construction plus courts
- Coûts d'investissement réduits et plus efficaces
- Optimisation des méthodes de fabrication
- Versatilité dans l'installation
- Flexibilité et adaptation aux demandes

¹⁴⁶ Javier Rodriguez Zulato, « SMR en Argentina : Reactores pequeños modulares, una oportunidad que estamos dejando pasar », *Mendoza Today*, 15 août 2024, consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur : <https://mendozatoday.com.ar/2024/08/15/smr-en-argentina-reactores-pequenos-modulares-una-oportunidad-que-estamos-dejando-pasar/>.

¹⁴⁷ Nadia Luna, « ¿Soberanía o dependencia tecnológica? Los desarrollos argentinos para la transición energética », *Agencia TSS*, 11 juillet 2024, consulté le 14 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.agenciatss.com.ar/soberania-o-dependencia-tecnologica-los-desarrollos-argentinos-para-la-transicion-energetica/>

¹⁴⁸ Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), « Argentinian Nuclear Power Plant », *Argentina.gob.ar*, consulté le 2 avril 2025, traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/argentinian-nuclear-power-plant>.

Sur son site, la CNEA souligne que la centrale CAREM est « l'une des rares en construction, positionnant le pays parmi les principaux développeurs et, par conséquent, comme l'un des leaders mondiaux dans cette catégorie de technologie. »¹⁴⁹

Ce réacteur est conçu pour fournir de l'électricité à une population d'environ 120 000 habitants. Ce projet représente une étape intermédiaire avant la production et la commercialisation de ce type de réacteurs, servant à la formation et à l'actualisation continue du personnel impliqué. En effet, l'emplacement des installations de la centrale dans le complexe nucléaire Atucha a été en partie pensé avec cet objectif.

« Ce site a été aménagé sur le plan architectural et environnemental pour devenir un lieu d'implantation de la première centrale CAREM et un potentiel centre atomique avec des laboratoires, des salles de formation, un simulateur d'entraînement pour les opérateurs de centrales nucléaires, entre autres activités, qui créeront un environnement propice au développement des futures centrales CAREM de type commercial et à la formation des prochaines générations de professionnels du nucléaire... »¹⁵⁰

En ce qui concerne l'idée de produire des CAREM pour leur commercialisation, il est important de rappeler que le pays a conçu et exporté plusieurs réacteurs de recherche. De plus, dans le cadre de sa tradition (différente de celle d'autres pays exportateurs de technologie nucléaire), l'Argentine promeut l'échange de connaissances ainsi que la formation de professionnels dans les pays avec lesquels elle conclut des accords commerciaux.

« Historiquement, le pays ne se limite pas à vendre des réacteurs « clé en main », mais accompagne l'acheteur dans la formation des ressources humaines, l'accès aux connaissances et le conseil technologique tout au long du cycle de vie du réacteur. »¹⁵¹

L'histoire de ce projet est intéressante, puisqu'il a réussi à progresser dans un pays confronté à une instabilité économique et à des fluctuations politiques cycliques. Voici une chronologie pour illustrer ces moments. Les informations ont été obtenues dans les cahiers

¹⁴⁹ CNEA, « Argentinian Nuclear Power Plant ».

¹⁵⁰ Ibid.

¹⁵¹ Ibid.

réalisés par Jorge Salvador Zappino pour l'INAP, l'organisme chargé de former le personnel de l'État argentin.¹⁵²

En 1979, le gouvernement argentin a approuvé la construction de quatre centrales nucléaires. En 1983, le CNEA a développé le concept CAREM, qui se résument à un réacteur de faible puissance conçu pour fournir de l'énergie dans des régions isolées. Ainsi, cet organisme a décidé de mettre en œuvre un design propre de réacteur nucléaire. La même année, parmi les quatre projets présentés en 1979, seul le CAREM n'a pas été annulé par le gouvernement récemment formé de Raúl Alfonsín. Dans les hautes sphères militaires, avec le personnel de l'INVAP, on étudiait la possibilité de construire un réacteur pour les sous-marins nucléaires.

Le groupe d'ingénieurs en charge a eu l'idée de construire un réacteur fonctionnant par convection naturelle, c'est-à-dire un réacteur qui transfère la chaleur en utilisant la circulation naturelle ; sans pompe externe pour le refroidissement. Cela rendrait le réacteur moins complexe dans sa construction et plus sûr à la fois. Ainsi est née l'innovation principale du CAREM-25, qui, bien qu'il ne puisse pas être utilisé dans les sous-marins, pourrait être appliqué à la génération d'électricité.

Dans le cadre de ce projet, le réacteur RA-8 a été construit, dont la criticité en 1997 a permis de commencer la vérification des calculs neutroniques applicables au design du CAREM-25.

En 1999, l'INVAP a présenté le projet dans plusieurs pays et, bien qu'il ait généré une répercussion positive, à cette époque, le système de science et technologie fut affecté par une importante réduction de budget, ce qui a provoqué la perte de ressources humaines. La crise économique et sociale a fini par étouffer le projet, et en 2001, il a été abandonné par les autorités.

Plus tard, en 2003, le projet a été relancé par l'administration de Nestor Kirchner et en 2006, un décret a été signé déclarant d'intérêt national la construction et la mise en service du prototype CAREM-25.

En 2014, les travaux civils ont commencé, et en 2019, le CNEA mentionnait comme objectifs atteints :

- Le financement et la formation des ressources humaines.

¹⁵² Zappino, « Ingeniería y desarrollo ».

- La licence du réacteur à eau non lourde et le développement de la chaîne d'approvisionnement.¹⁵³

Dans le cadre des accords de coopération signés avec les États-Unis, en 2022, la directrice du projet Sol Pedre a visité les travaux en cours du CAREM avec des spécialistes de ce pays. Dans ce cas, dans le cadre du Comité Permanent Conjoint de Coopération en Énergie Nucléaire entre les États-Unis et l'Argentine. Selon le site officiel du gouvernement, ces réunions représentent :

« Un canal de dialogue significatif et consolidé entre l'Argentine et les États-Unis, développé sans interruption depuis l'année 2003 (...) cela démontre la confiance mutuelle existante entre les deux pays sur des sujets nucléaires et favorise l'approfondissement et la diversification de la coopération dans ce domaine. »¹⁵⁴

Plus récemment, en 2023, le projet dépassait les 78 %, et l'avancement physique total du projet était de l'ordre de 62 %.¹⁵⁵ Cet engagement de l'Argentine à développer une technologie propre et la production de connaissances a consolidé sa position en tant qu'acteur technologique reconnu dans la région.

Il est important de souligner ainsi le caractère formateur du Projet CAREM pour les professionnels du secteur nucléaire argentin. Cela résulte des échanges de connaissances au niveau international grâce à la participation de l'Argentine à différents forums mondiaux sur ce sujet, comme le Forum INPRO (International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles) et du développement de conceptions propres. L'ancienne présidente de la Commission nationale de l'énergie atomique, Dre Serquis, a fait référence à ce sujet :

« La quantité de savoir en cours de génération va marquer une différence et nous positionnera dans le monde, où l'on nous regarde avec l'attente de démontrer que ce type de réacteurs fonctionne. »¹⁵⁶

¹⁵³ Ignacio De Arenaza, « CAREM-25 – Current Status », 17th INPRO Forum on Opportunities and Challenges in SMR, Ulsan, South Korea, 2-5 juillet 2019, consulté le 3 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [Diapositiva 1.](#)

¹⁵⁴ Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), « Especialistas estadounidenses del JSCNEC visitaron la obra del reactor CAREM », *Argentina.gob.ar*, 11 avril 2022, consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/especialistas-estadounidenses-del-jscnec-visitaron-la-obra-del-reactor-carem>.

¹⁵⁵ Zappino, « Ingeniería y desarrollo », 77.

¹⁵⁶ Ibid., 82.

En poursuivant le développement de ce projet, l'année dernière a été marquée en matière de discours politiques pour le secteur nucléaire argentin. L'actuel président argentin Javier Milei, en évoquant les besoins énergétiques importants liés à l'intelligence artificielle dans le futur et le développement significatif du secteur nucléaire argentin, comme deux conditions qui stimuleront la croissance de ce secteur. Dans un discours prononcé à ce sujet, accompagné du directeur de l'AIEA Rafael Grossi et de son chef de conseillers Demien Raidel, le président a exprimé ce qui suit :

« (...) Le potentiel du développement de l'intelligence artificielle est si immense qu'avec l'énergie conventionnelle, il ne suffira pas à satisfaire cette nouvelle demande. C'est pourquoi nous sommes convaincus qu'un renouveau de l'énergie nucléaire va émerger dans le monde entier, car malgré les innombrables campagnes de discrédit organisées par certaines fondations internationales, l'énergie nucléaire est la seule source suffisamment efficace, abondante et rapidement extensible pour faire face au développement de notre civilisation (...) nous prétendons être des pionniers. » ¹⁵⁷

Dans le même sens, Reidel a fait référence à la tradition importante et à l'expérience dont dispose l'Argentine en matière de formation de professionnels en haute technologie :

« L'Argentine n'est pas seulement prête à mener cette révolution énergétique, mais elle le fera avec une technologie 100 % argentine. Développée par nos ingénieurs nucléaires, qui sont reconnus parmi les meilleurs au monde, ce projet n'est pas seulement une avancée technologique, c'est une fierté nationale. » ¹⁵⁸

Ces déclarations ont été validées par l'actuel directeur de l'AIEA, Rafael Grossi, qui a évoqué le pays sud-américain dans les termes suivants :

« Avec plus de 70 ans d'expérience, l'Argentine est un contributeur important à l'avancement de la technologie nucléaire pacifique. Ensemble, nous renforcerons

¹⁵⁷ Javier Milei, « Discurso del presidente Javier Milei – Lanzamiento del plan nuclear argentino », *Argentina.gob.ar*, Buenos Aires, 20 décembre 2024, consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [El presidente Javier Milei al anunciar el Plan Nuclear Argentino: "La energía nuclear tendrá su retorno triunfal" | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/plan-nuclear).

¹⁵⁸ Demian Reidel, cité dans Agencia TSS, « El nuevo plan nuclear y los anuncios gaseosos », *Agencia TSS*, 27 décembre 2024, consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.agenciatss.com.ar/el-nuevo-plan-nuclear-y-los-anuncios-gaseosos/>.

l'infrastructure, la sécurité et l'innovation pour garantir une énergie propre et fiable face aux demandes énergétiques émergentes. »¹⁵⁹

Il est évident que la mise en valeur de l'autonomie technologique atteinte par le pays est bien présente, du moins dans le discours politique actuel. Pour l'instant, selon la CNEA, il était prévu que la fin de la phase de construction et le début du montage électromécanique commencerait à la fin de 2024 et au début de 2023.

Néanmoins, La Gazette Nucléaire, publication spécialisée dans l'énergie nucléaire, dans son volume de mai 2024, a fait référence aux retards et aux coûts du projet CAREM. En 2014, l'AIEA annonçait une première charge de combustible pour le réacteur en 2018. Ensuite, cette année-là, le même organisme parlait d'une première criticité du réacteur pour 2022. En 2022, il annonçait comme date probable 2026, et l'année dernière, il prévoyait une première criticité pour 2027. L'article mentionne que le projet a eu un coût estimé de 446 millions de dollars, selon des sources de la World Nuclear Association.¹⁶⁰

Malgré les nombreuses vicissitudes qu'a connu ce projet, l'histoire n'est pas encore terminée. Bien que le gouvernement actuel évoque les potentialités du secteur nucléaire argentin, Javier Milei n'a pas fait référence directement au projet CAREM dans son discours. L'actuel responsable de la CNEA a qualifié le réacteur de "réacteur de démonstration" et a chargé les professionnels de la CNEA de rédiger un document pour analyser les technologies et conceptions SMR qui pourraient être développées dans le pays. Selon les mots de Germán Guido Laval, actuel président de la CNEA :

« J'ai reçu le premier brouillon du document, un brillant document analysant les différentes technologies. Si en Argentine nous allons concevoir un réacteur à sels fondus ou de sodium liquide, nous n'avons donné aucune instruction, nous avons simplement dit : une feuille blanche. »¹⁶¹

¹⁵⁹ Rafael Grossi, cité dans Nicolás Deza, « El gobierno creará un consejo nuclear para desarrollar reactores modulares de tecnología nacional y la minería de uranio », *EconoJournal*, 20 décembre 2024, consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://econojournal.com.ar/2024/12/el-gobierno-creara-un-consejo-nuclear-para-desarrollar-reactores-modulares-de-tecnologia-nacional-y-la-mineria-de-uranio/>.

¹⁶⁰ La Gazette Nucléaire, « SMR : Small Modular Reactor ou Small Mythical Reactor ? », *La Gazette Nucléaire*, n° 302, mai 2024, consulté le 3 avril 2025, <https://www.gazettenucleaire.org/2024/302/>.

¹⁶¹ German Guido Laval, cité dans Nicolás Deza, « La CNEA descarta el proyecto CAREM y explora otros diseños de reactores modulares pequeños », *EconoJournal*, 30 décembre 2024, consulté le 14 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://econojournal.com.ar/2024/12/la-cnea-descarta-el-proyecto-carem/>.

Ces déclarations prévoient un avenir quelque peu incertain pour le secteur nucléaire argentin. Est-ce que les développements nationaux seront mis de côté pour adopter des technologies étrangères dans la production de SMR ? Quels intérêts peuvent influencer cette décision ? L'avenir du projet CAREM reste incertain.

Conclusion

La technologie et la production de connaissances peuvent être considérées comme des ressources stratégiques dans les relations internationales. Mais comment les intérêts géopolitiques orientent-ils les stratégies de coopération et d'échange de ces connaissances ? Comment le développement technologique se concentre-t-il dans certains pays, leur conférant un poids accru dans ces relations internationales ? Les pays périphériques peuvent-ils surmonter cette situation ?

À l'issue de ce travail de recherche bibliographique, je peux affirmer que le transfert de technologie est bel et bien influencé par des objectifs répondant aux intérêts des pays détenteurs. La technologie et l'échange de connaissances ne sont pas neutres : ils ont des effets et des conséquences sur les relations internationales. Ces échanges peuvent être des moteurs du développement et profiter à l'ensemble de la société, mais ils peuvent aussi engendrer des relations de dépendance et des interventions politiques.

Dans un système de concurrence commerciale, le développement des pays, ainsi que les divergences politiques et idéologiques, restreignent significativement l'échange de connaissances dans certains secteurs. Sur le plan économique, les TT sont principalement conditionnés par des intérêts visant à maximiser les bénéfices et à contrôler la concurrence, notamment à travers la gestion stratégique de la propriété intellectuelle et la production de brevets.

Ces dynamiques deviennent encore plus perceptibles lorsque, aux intérêts commerciaux et économiques, s'ajoutent des enjeux de sécurité nationale et d'influence internationale, faisant de certaines technologies des éléments stratégiques. C'est le cas de la technologie nucléaire, qui a été considérée dès ses débuts comme critique en raison de son immense potentiel d'application, tant dans le domaine civil que militaire.

L'utilisation civile de cette technologie et de ses connaissances a dû attendre que les pays détenteurs, principalement les États-Unis, soient disposés à partager cette technologie sous un strict contrôle, ce qui leur a permis d'accroître leur influence internationale.

Cela dit, et en lien avec la première hypothèse de ce travail, il apparaît clairement que les transferts de technologie sont fortement influencés par des considérations géopolitiques qui orientent les modalités d'accès, de diffusion et de coopération entre États.

La technologie devient une ressource stratégique dans les relations mondiales, permettant aux pays investissant davantage dans la science et la technologie de renforcer leurs formes de leadership stratégique aux niveaux économique et politique. Depuis toujours, le développement technologique constitue un levier stratégique permettant aux pays les plus développés d'influer sur l'évolution économique au niveau mondial, d'encadrer la concurrence internationale et d'optimiser leurs intérêts économiques.

Il est indéniable que les échanges de connaissances scientifiques et techniques jouent un rôle fondamental dans le TT, et lorsqu'ils sont promus par les pays détenteurs à travers des accords de coopération, ils consolident leurs stratégies d'influence internationale. Dans un passé récent, les transferts de technologie ont été encouragés sous l'angle du développement économique des pays. Aujourd'hui, à ces intérêts s'ajoutent la lutte contre le changement climatique et la nécessité d'engager une transition énergétique reposant sur des technologies qualifiées de « vertes ». Parmi ces technologies, la production d'énergie nucléaire revient au cœur du débat comme un allié des énergies renouvelables, ouvrant la voie à son application dans des pays sans expérience nucléaire.

C'est pourquoi j'ai choisi le transfert de technologie nucléaire pour illustrer cette dynamique : elle appartient à l'histoire récente et, de plus, sa caractéristique de double usage en fait un sujet critique dans les relations internationales. La révision historique présentée dans le deuxième chapitre me permet d'affirmer que la technologie nucléaire et ses développements ont toujours été strictement contrôlés par un groupe restreint de pays.

Ce contrôle se manifeste dans la création de différents organismes multilatéraux conçus à cet effet. Les accords internationaux et les sanctions des Etats-Unis visent à limiter l'accès des nouveaux pays aux technologies à potentiel militaire. La création de ces organismes et la signature d'accords ont également permis d'instaurer la confiance nécessaire à la promotion des échanges de connaissances scientifiques et techniques dans le domaine nucléaire civil. Cependant, ces mêmes mécanismes ont été utilisés pour exercer des pressions sur les pays non alignés et entraver le développement de leurs plans nucléaires respectifs.

Et comme je l'ai formulé dans la deuxième partie de cette hypothèse ces mécanismes, visant à concilier la promotion de l'usage pacifique de l'énergie nucléaire avec la prévention de sa prolifération, structurent encore aujourd'hui les conditions de transfert et de circulation des connaissances dans ce domaine.

Or, dans cette réflexion, il m'a semblé pertinent de ne pas me limiter à la description de ces dynamiques et de leur relation avec le développement de la technologie nucléaire et ses applications civiles. C'est pourquoi j'ai décidé de prendre un cas d'analyse au sein de cet

univers si complexe afin d'illustrer comment les intérêts géopolitiques ont influencé et continuent d'influencer les échanges de connaissances et les transferts de technologie nucléaire.

Le cas argentin m'a semblé pertinent, car il s'agit d'un pays du Sud global qui éloigné du statut de puissance, ne dispose pas d'un budget conséquent en matière de science et de technologie. En outre, en raison de son statut de pays non-aligné, l'Argentine a dû s'adapter à un environnement international contraignant, marqué par des régulations strictes en matière de technologie nucléaire. Malgré, elle a réussi à surmonter ces obstacles grâce à la formation de ressources humaines et à sa détermination à développer des capacités propres dans une perspective d'autonomie technologique.

En dépit des pressions extérieures, les changements fréquents de politiques internes et les réalignements géopolitiques, l'Argentine a su s'imposer comme un acteur important dans le domaine d'application civile de la technologie nucléaire. Cela a été facilité possible en partie grâce à la signature de multiples accords de coopération et à sa participation à des organismes multilatéraux et des forums d'échanges scientifiques et techniques, ainsi qu'à l'expérience acquise au fil de décennies d'utilisation et de développement de cette technologie.

En lien avec la troisième hypothèse de ce mémoire, je me permets de souligner que, dans une époque marquée par la lutte contre le changement climatique et la mise en avant de la technologie nucléaire—ainsi que des SMR —comme des alliés de la transition énergétique, l'Argentine, avec son projet SMR CAREM, illustre l'ambition d'un pays déterminé à renforcer sa souveraineté technologique face aux contraintes externes en matière de transfert de technologie.

Ce projet illustre également l'intégration de l'Argentine dans les dynamiques complexes qui entourent le développement de la technologie nucléaire, lui permettant une insertion active dans les dynamiques de coopération régionale et internationale.

Mais que réserve l'avenir ? À la mi-2025, dans un monde bouleversé par la guerre commerciale déclenchée par l'administration Trump aux États-Unis, par l'avancée incontestable de la Chine en matière de technologie et d'innovation, et par une Europe en plein débat sur son autonomie stratégique ou sa dépendance, les pays en développement se présentent comme des alternatives pour la création de nouveaux accords commerciaux et scientifiques.

De nombreuses questions émergent quant à l'avenir du transfert des technologies nucléaires et au rôle des pays en développement, en particulier celui de l'Argentine. La reconnaissance de l'énergie nucléaire comme une énergie propre favorisera-t-elle un transfert plus ouvert et dynamique de cette technologie ? Quel rôle les pays en développement adopteront-ils face aux intérêts géopolitiques qui influencent ces transferts ? Chercheront-ils à

atteindre une autonomie technologique à travers la formation de ressources humaines, l'échange de connaissances et l'investissement dans la recherche, ou ces transferts généreront-ils de nouvelles dépendances vis-à-vis des pays développés ?

Dans un présent où l'énergie nucléaire—et, à l'avenir, les SMR—sont considérés comme des technologies essentielles à la transition énergétique, l'Argentine parviendra-t-elle à s'intégrer dans la concurrence commerciale et à exporter ses SMR ?

L'avenir nous le dira

Bibliographie

- Acosta, Carolina et María Nevía Vera. « Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía? » Dans *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo*, sous la direction de María Paz López, chap. 5 (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2023). Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía?](#)
- Cissé, Amadou. « Le transfert des techniques nucléaires. » *Bulletin de l'AIEA* 19, no. 4 (1977). https://www.iaea.org/sites/default/files/19405380911_fr.pdf.
- Chatzis, Irena. *¿Son los reactores modulares pequeños un desafío para la gestión del combustible ? Boletín del OIEA*, 2019. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.iaea.org/>
- Derdevet, Michel, y Nicolas Mazzucchi. « Les petits réacteurs modulaires, une nouvelle ère nucléaire ? Approche géopolitique et stratégique. » *La Revue de l'Énergie*, no. 657 (juillet-août 2021) : 45–57. <https://www.larevuedelenergie.com/>
- Einstein, Albert et Leó Szilárd. *Lettre à Franklin D. Roosevelt*. Maison-Blanche, Washington, D.C., 1939.
- Dwight D. Eisenhower, *Discours à l'Assemblée générale des Nations Unies*, (New York : ONU, 1953)
- Glachant, Matthieu, Jean-Philippe Ing, y Jean-Philippe Nicolai. « Transfert de technologies propres, commerce international et accords environnementaux. » *Revue française d'économie* 21, no. 3 (2016) : 138.
- Grossi, Rafael Mariano. « L'énergie nucléaire : un retour au réalisme. » *La Revue de l'Énergie* 675 (2024): 5-9. [L'énergie nucléaire : un retour au réalisme - La Revue de l'Énergie](#).
- Grossi, Rafael Mariano. *Plénière de la NHSI – juin 2023 – La réglementation des designs de réacteurs innovants*. Cité dans Jayarajan, Nayana et Volha Piotukh. *Réglementer les modèles de réacteurs innovants. Les innovations nucléaires au service du « zéro émission nette »*. Consulté le 2 avril 2025. <https://www.iaea.org/sites/default/files/6432425fr.pdf>
- Hurtado, Diego, y Pablo Souza. « Los inicios de la física experimental en la Argentina de Perón (1946-1955): internacionalismo académico, sectores estratégicos y presiones geopolíticas. » *Pasado Abierto* 10 (2019): 48–65. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://fh.mdp.edu.ar/>
- Diego Hurtado, *La Argentina potencia atómica: Una historia de la política nuclear (1945-2001)* (Buenos Aires: Siglo XXI Editores, 2021). Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur.
- Laue, Hans Jörg. « L'énergie d'origine nucléaire et le transfert de technologies. » *Bulletin de l'AIEA* 24, no. 4 (1982).
- Lewandowski, Cedric *Le nucléaire* (Paris : Presses Universitaires de France, 2024).
- Meyer, Teva. « L'énergie nucléaire : un bel avenir ? » *Politique étrangère* 4, no. 244 (2024): 71–8.
- Ornstein, Roberto. « CNEA – Desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa. » *Revista de la CNEA* 37–38 (janvier-juin 2010). Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [untitled](#)
- Raphaël Prenat, *Relations internationales et régimes multilatéraux de contrôle des technologies sensibles*, AFRI, Vol. I (Paris: Centre Thucydide, 2000). [prenat2000.pdf](#).
- Reuss, Paul. *L'énergie nucléaire* (Paris: Presses Universitaires de France, 2009)
- Roche, Stéphane. *Les sanctions économiques contre la prolifération nucléaire: une histoire américaine* (Les Cahiers de la Revue Défense Nationale, n.d.). <https://www.defnat.com/>
- Spivak L'Hoste, Ana Silvia. « “No hay futuro en abandonar nuestra historia nuclear”: nostalgia e imaginarios desarrollistas en una discusión sobre la energía nuclear en Argentina. » *Runa* 43, no. 2 (2022) : 289–304. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur.
- Stehr, Nico, y Ulrich Ufer. « La répartition et la diffusion mondiales du savoir. » *Revue internationale des sciences sociales* 60, no. 195 (2010) : 9-29.
- Warden, John et Ruediger Koenig. « Data Centers : A New Dawn for Nuclear Energy. » *International Journal for Nuclear Power* 2 (2025) : 45–52. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [atw-2025- 2 Data-Centers.pdf](#)

Zappino, Jorge Salvador. « Ingeniería y desarrollo en el sector nuclear. El CAREM-25: primer reactor nuclear de potencia íntegramente argentino. » *Cuadernos del INAP* 4, no. 125 (2023) : 26. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://publicaciones.inap.gob.ar/>

Citographie :

- Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN), *Convention sur la sûreté nucléaire*, consulté le 31 mars 2025. <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/relations-internationales/conventions-et-traites-internationaux/convention-sur-la-surete-1>.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). 2021. *Petits réacteurs modulaires*. Dernière modification le 15 juin 2021. Consulté le 2 avril 2025. <https://www.iaea.org/fr/themes/petits-reacteurs-modulaires>.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*. Vienne : IAEA, 2024. [Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 | IAEA](#).
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). *L'AIEA et le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires*. Consulté le 30 mars 2025. <https://www.iaea.org>.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). *Les réacteurs de recherche*. Consulté le 25 mars 2025. <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). *Statut tel qu'amendé au 28 décembre 1989*. Consulté le 27 décembre 2024. [Statute of the IAEA - French](#)
- Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN), *Convention sur la sûreté nucléaire*. Consulté le 31 mars 2025. <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/relations-internationales/conventions-et-traites-internationaux/convention-sur-la-surete-1>.
- Agencia TSS. « El nuevo plan nuclear y los anuncios gaseosos ». *Agencia TSS*, 27 décembre 2024. Consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.agenciatss.com.ar/el-nuevo-plan-nuclear-y-los-anuncios-gaseosos/>.
- Barbarán, Gustavo. « Enriquecimiento. Por qué hay que hacerlo. » *U-238*, 16 juillet 2014. Consulté le 10 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://u-238.com.ar/enriquecimiento-por-que-hay-que-hacerlo/>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). *Década 1950/1959 s.d.* Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia/decada-19501959>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). *Década 1990/1999 s.d.* Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/institucional/decada-19901999>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). *Década 2010/2019 s.d.* Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia/decada_2010-2019.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). « Especialistas estadounidenses del JSCNEC visitaron la obra del reactor CAREM ». *Argentina.gob.ar*, 11 avril 2022. Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/especialistas-estadounidenses-del-jscnec-visitaron-la-obra-del-reactor-carem>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). *Historia*. s.d. Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/historia>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). « Argentinian Nuclear Power Plant. s.d. Consulté le 2 avril 2025. <https://www.argentina.gob.ar/argentinian-nuclear-power-plant>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica. *73 años de tecnología nuclear al servicio del país*. s.d. Consulté le 21 mai 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/73-anos-de-tecnologia-nuclear-al-servicio-del-pais>.
- CORDIS. « La sécurité de l'approvisionnement en combustible de l'UE assurée pour les réacteurs nucléaires. » *CORDIS*, 2025. [Passer d'une source de combustible à une autre pour un approvisionnement constant en énergie verte | SWITCH Project | Résultats en bref | H2020 | CORDIS | Commission européenne](#)
- De Arenaza, Ignacio. « CAREM-25 – Current Status ». *17th INPRO Forum on Opportunities and Challenges in SMR*, Ulsan, Corée du Sud, 2-5 juillet 2019. Consulté le 3 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/IV.2-de%20Arenaza-CAREM.pdf>.
- Deza, Nicolás. « El gobierno creará un consejo nuclear para desarrollar reactores modulares de tecnología

- nacional y la minería de uranio ». *EconoJournal*, 20 décembre 2024. Consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://econojournal.com.ar/2024/12/el-gobierno-creara-un-consejo-nuclear-para-desarrollar-reactores-modulares-de-tecnologia-nacional-y-la-mineria-de-uranio/>.
- Deza, Nicolás. « La CNEA descarta el proyecto CAREM y explora otros diseños de reactores modulares pequeños ». *EconoJournal*, 30 décembre 2024. Consulté le 14 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://econojournal.com.ar/2024/12/la-cnea-descarta-el-proyecto-carem/>.
- Donzé, Pierre-Yves. « Transfert de technologie et de connaissances ». *Dictionnaire historique de la Suisse*. 22 octobre 2018. Consulté le 2 janvier 2025. <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/055506/>.
- Esteller, Rubén. « Francia e Italia se alían en el desarrollo de minirreactores nucleares mientras España cierra Almaraz. » *El Economista*, 17 janvier 2025. Consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [Francia e Italia se alían en el desarrollo de minirreactores nucleares mientras España cierra Almaraz](https://www.el-economista.es/energia/2025/01/17/francia-e-italia-se-alian-en-el-desarrollo-de-minirreactores-nucleares-mientras-espana-cierra-almaraz/)
- EnergyNews. « NuScale déploiera ses 1ers SMR d'Europe en Roumanie. » Consulté le 5 avril 2025. <https://energynews.pro/nuscale-deploiera-ses-1ers-smr-deurope-en-roumanie/>.
- EnergyNews. *Rolls Royce place un SMR 470MW en Pologne*. EnergyNews, 20 mai 2024. Consulté le 1 avril 2025. <https://energynews.pro/la-pologne-approuve-un-projet-pour-le-nucleaire/>
- Generation IV International Forum (GIF). s.d. « Welcome to the Generation IV International Forum. » Consulté le 20 mai 2025. [Welcome to the Generation IV International Forum | GIF Portal](https://www.gif-international.org/)
- Kirschner, Noelani. *Le nucléaire à l'ère des petits réacteurs modulaires*. ShareAmerica, 2024. Consulté le 25 mai 2025. [Le nucléaire à l'ère des petits réacteurs modulaires - ShareAmerica](https://www.share-america.org/fr/fr/le-nucleaire-a-l-ere-des-petits-reacteurs-modulaires/)
- La Gazette Nucléaire. « SMR : Small Modular Reactor ou Small Mythical Reactor ? ». *La Gazette Nucléaire*, n° 302, mai 2024. Consulté le 3 avril 2025. <https://www.gazettenucleaire.org/2024/302/>.
- Luna, Nadia. « ¿Soberanía o dependencia tecnológica? Los desarrollos argentinos para la transición energética. » *Agencia TSS*, 11 juillet 2024. Consulté le 14 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.agenciatss.com.ar/soberania-o-dependencia-tecnologica-los-desarrollos-argentinos-para-la-transicion-energetica/>.
- Milei, Javier. « Discurso del presidente Javier Milei – Lanzamiento del plan nuclear argentino ». *Argentina.gob.ar*, Buenos Aires, 20 décembre 2024. Consulté le 2 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-presidente-javier-milei-anunciar-el-plan-nuclear-argentino-la-energia-nuclear-tendra>.
- Naranjo, José. « África abraza la energía nuclear. » *El País*, 25 febrero 2025, consulté le 4 avril. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [África abraza la energía nuclear | Negocios | EL PAÍS](https://elpais.com/energia/2025/02/25/africa-abraza-la-energia-nuclear-negocios-el-pais/)
- Organisation des Nations Unies. 1968. *Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires*. Consulté le 15 mars 2025. [volume-729-I-10485-French.pdf](https://www.un.org/fr/peace-keeping/arms-control/treaties-and-agreements/1968-treaty-on-the-non-proliferation-of-nuclear-arms/).
- Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle. *Qu'est-ce que le transfert de technologie*. Consulté le 14 avril 2025. <https://www.wipo.int/web/technology-transfer/>.
- Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). « Pequeños reactores, gran potencial. » *IAEA Bulletin*, 2025. Consulté le 1 avril 2025. [Pequeños reactores, gran potencial | OIEA](https://www.oiea.org/fr/pequeños-reactores-gran-potencial)
- Planète Énergie. *Les réacteurs nucléaires de demain*. Total Énergie, s.d. Actualisé le 23 octobre 2023. Consulté le 2 avril 2025. <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/reacteurs-nucleaires-demain>.
- Rodriguez Zulato, Javier. « SMR en Argentina : Reactores pequeños modulares, una oportunidad que estamos dejando pasar. » *Mendoza Today*, 15 août 2024. Consulté le 1 avril 2025. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. <https://mendozatoday.com.ar/2024/08/15/smr-en-argentina-reactores-pequenos-modulares-una-oportunidad-que-estamos-dejando-pasar/>.
- Stanley, Ruth. « Transferencia de tecnología a través de la migración científica. » *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* 1, no. 2 (2004): 21–46. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. [Transferencia de tecnología a través de la migración científica: ingenieros alemanes en la industria militar de Argentina y Brasil \(1947-1963\)](https://www.iberopress.com/revista/1-2/transferencia-de-tecnologia-a-traves-de-la-migracion-cientifica-ingenieros-alemanes-en-la-industria-militar-de-argentina-y-brasil-1947-1963/)
- United Nations Framework Convention on Climate Change. *United Nations Framework Convention on Climate Change: Text*. United Nations, 1992. Traduction par IA Copilot, révisée par l'auteur. Consulté le 2 mai 2025. [conveng.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/conveng.pdf)
- World Nuclear News. *US State Department launches SMR support programme*. 29 avril 2021. Traduction par IA

Copilot, révisée par l'auteur. [US State Department launches SMR support programme - World Nuclear News](#)
Zangger Committee. *Our Mission*. Consulté le 19 mars 2025. <https://www.zanggercommittee.org>

Glossaire

CANDU (*Canada Deuterium Uranium*) : Réacteur nucléaire de conception canadienne utilisant de l'eau lourde comme modérateur et du combustible non enrichi.

Eau lourde : Eau contenant du deutérium (D_2O), utilisée comme modérateur dans certains réacteurs pour ralentir les neutrons.

Enrichissement de l'uranium : Procédé augmentant la concentration en U-235 pour le rendre apte à la fission dans les réacteurs.

Forum INPRO (*International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles*) : Initiative de l'AIEA lancée en 2000 pour soutenir le développement de technologies nucléaires innovantes et durables.

Génération IV (*Gen-IV*) : Famille de réacteurs nucléaires de quatrième génération, en cours de développement, visant une efficacité énergétique accrue, une meilleure sécurité et une réduction des déchets.

NFR (*Natural Fuel Reactor*) : Réacteur nucléaire utilisant du combustible naturel, sans étape préalable d'enrichissement.

Plutonium (Pu-239) : Élément fissile produit à partir de l'U-238, utilisé comme combustible ou à des fins militaires.

PWR (*Pressurized Water Reactor*) : Réacteur à eau pressurisée, le type de réacteur nucléaire le plus répandu dans le monde.

RA-3 / RA-4 / RA-6 / RA-10 (*Reactor Argentino*) : Réacteurs de recherche exploités par la CNEA en Argentine pour des applications scientifiques, industrielles et médicales.

Uranium 235 (U-235) : Isotope fissile rare de l'uranium naturel, essentiel pour la fission nucléaire.

Uranium 238 (U-238) : Isotope non fissile majoritaire de l'uranium naturel, utilisé pour produire du plutonium.

VVER / VVER-440 (*Water-Water Energetic Reactor*) : Réacteurs à eau pressurisée de conception soviétique, utilisés principalement en Europe de l'Est.

White Paper : Document officiel émis par un gouvernement ou une organisation, présentant une position stratégique ou des lignes directrices sur une politique publique.

Sigles et abréviations utilisés

ABACC : *Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares* – Agence binationale créée en 1991 pour assurer le contrôle bilatéral des matériaux nucléaires à usage pacifique entre le Brésil et l’Argentine.

ACP100 : Réacteur modulaire compact conçu dans les années 2010 par la CNNC (Chine), destiné à une utilisation domestique et à l’exportation.

AIEA / IAEA : *Agence internationale de l’énergie atomique / International Atomic Energy Agency* – Organisme onusien fondé en 1957, chargé de promouvoir l’usage pacifique de l’énergie nucléaire.

CEA : *Commissariat à l’énergie atomique et aux énergies alternatives* – Organisme public français de recherche dans le domaine de l’énergie nucléaire civile et militaire.

CELAC : *Communauté des États latino-américains et des Caraïbes* – Organisation régionale créée en 2011 pour renforcer la coopération politique et économique en Amérique latine.

CNEA : *Comisión Nacional de Energía Atómica* – Organisme public argentin fondé en 1950 pour superviser le développement de l’énergie nucléaire.

CNNC : *China National Nuclear Corporation* – Entreprise d’État chinoise spécialisée dans le développement et l’exploitation de technologies nucléaires.

COP28 : *28e Conférence des Parties sur le climat* – Conférence de l’ONU sur le changement climatique tenue à Dubaï en 2023.

CTBT : *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty* – Traité signé en 1996 à New York visant à interdire tous les essais nucléaires ; non encore entré en vigueur.

EDF : *Électricité de France* – Principal producteur et distributeur d’électricité en France, exploitant du parc nucléaire national.

ESSANUF : *European Supply of Safe Nuclear Fuel* – Initiative européenne lancée en 2015 pour diversifier les sources d’approvisionnement en combustible nucléaire.

FIRST : *Foundational Infrastructure for Responsible Use of SMR Technology* – Programme américain lancé en 2021 pour soutenir le développement responsable des SMR dans les pays partenaires.

INAP : *Instituto Nacional de la Administración Pública* – Organisme argentin chargé de la formation des cadres administratifs.

INVAP S.E. : Entreprise publique argentine spécialisée dans l’ingénierie nucléaire, spatiale et industrielle.

NHSI : *Nuclear Harmonization and Standardization Initiative* – Initiative internationale visant à harmoniser les normes de sûreté pour les réacteurs SMR.

NRC : *Nuclear Regulatory Commission* – Autorité américaine indépendante de régulation du nucléaire civil.

RFMP : *Russian Fuel Manufacturing Plant* – Usine russe spécialisée dans la fabrication de combustible nucléaire.

START : *Strategic Arms Reduction Treaty* – Traité bilatéral signé en 1991 entre les États-Unis et l’Union soviétique pour réduire les armes nucléaires stratégiques.

TPAN / TPNW : *Traité sur l'interdiction des armes nucléaires* – Traité des Nations Unies adopté en 2017 et entré en vigueur en 2021, visant l'interdiction complète des armes nucléaires.

WIPO / OMPI : *World Intellectual Property Organization / Organisation mondiale de la propriété intellectuelle* – Agence des Nations Unies fondée en 1967, chargée de promouvoir la protection de la propriété intellectuelle.

Table des annexes

ANNEXE 1

LETTRE D'ALBERT EINSTEIN ET LEO SZILARD AU PRESIDENT DES ÉTATS-UNIS.FRANKLIN D. ROOSEVELT (2 AOUT 1939).....	83
---	-----------

ANNEXE 2

EXTRAITS DU DISCOURS DU PRESIDENT EISENHOWER A L'ASSEMBLEE GENERALE DES NATIONS UNIES (DECEMBRE 1953).	85
--	-----------

Annexe 3

EXTRAITS DU STATUT DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (Tel qu'amendé au 28 décembre 1989).....	89
---	-----------

Annexe 1

Lettre d'Albert Einstein et Leó Szilárd au président des États-Unis. Franklin D. Roosevelt (2 août 1939)

Lettre originale en anglais, rédigée par Léo Szilárd en consultation avec Edward Teller et Eugene Wigner, et signée par Albert Einstein. Ce groupe de scientifiques craignait que l'Allemagne soit sur le point de développer une bombe nucléaire ; ils persuadèrent alors Einstein, le scientifique le plus renommé de l'époque, de signer la lettre afin d'alerter le président des États-Unis sur ce danger potentiel. Ce document marque un tournant décisif dans l'histoire de la technologie nucléaire et son développement.

Source : [Einstein's Letter to President Roosevelt - 1939 | Historical Documents](#)

Albert Einstein
Old Grove Road
Peconic, Long Island
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt
President of the United States
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations.

In the course of the last four months it has been made probable through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America--that it may be possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable--though much less certain--that extremely powerful bombs of this type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove too heavy for transportation by air.

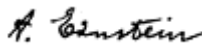
The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is in the Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust the task with a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

- a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States.
- b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining co-operation of industrial laboratories which have necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsacker, is attached to the Kaiser-Wilhelm Institute in Berlin, where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,


Albert Einstein

Annexe 2
EXTRAITS DU DISCOURS DU PRESIDENT EISENHOWER A
L'ASSEMBLEE GENERALE DES NATIONS UNIES (DECEMBRE
1953).

Ce discours a marqué le lancement de l'initiative *Atoms for Peace* et a joué un rôle déterminant dans l'application et le développement de la technologie nucléaire dans le domaine civil. Il reposait sur la proposition du président des États-Unis visant à créer une agence internationale chargée de superviser l'ensemble du secteur nucléaire — future Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) — dans le but de réduire les tensions face à la menace d'un conflit nucléaire.

Source : <https://www.un.org/depts/dhl/dag/docs/apv470f.pdf>

M. Dwight D. EISENHOWER, Président des États-Unis d'Amérique (traduit de l'anglais): Madame la Présidente, Messieurs les représentants, quand M. Hanimarskjold, votre Secrétaire général, m'a invité à prendre la parole devant vous, je me trouvais aux Bermudes, où je venais d'entamer une série d'entretiens avec les Premiers Ministres et les Ministres des affaires étrangères du Royaume-Uni et de la France, au sujet de quelques-uns des problèmes qui assègent aujourd'hui le monde. (...) 83. Je sais que le peuple des États-Unis est convaincu comme moi de cette double vérité: s'il existe un danger quelque part dans le monde, c'est un danger qui nous menace tous; de même, si une nation a des raisons d'espérer, elle doit faire part de ses espoirs à toutes les nations. Enfin, si l'on doit proposer des mesures destinées à diminuer -si peu que ce soit -la tension dont souffre le monde actuel, est-il assemblé plus digne d'entendre cette proposition que l'Assemblée générale des Nations Unies? 84. Je suis contraint de vous parler aujourd'hui in langage qui, en un certain sens, est nouveau; ce langage, moi qui ai passé dans l'armée tant d'années de ma vie, j'aurais préféré ne jamais l'employer. Ce nouveau langage est celui de la guerre atomique. 85. L'âge atomique a progressé à un tel rythme que chaque citoyen du monde doit avoir une idée, tout au moins par comparaison, de l'étendue de ce progrès, qui revêt pour nous tous la plus grande importance. Il est clair que si les peuples du monde doivent s'employer intelligemment à assurer la paix, ils doivent être au courant des faits essentiels qui marquent l'époque actuelle. 86. Lorsque je parle du danger et de la puissance

atomique, je ne puis évidemment me fonder que sur les données que possèdent les Etats-Unis, car ce sont les seuls faits que je connaisse indiscutablement. Ai-je besoin cependant de rappeler à cette Assemblée que le progrès dans ce domaine est mondial, et non pas seulement national?

87. Le 16 juillet 1945, les Etats-Unis ont fait exploser, à titre d'expérience, la première bombe atomique. Depuis cette journée de 1945, les Etats-Unis d'Amérique ont réalisé quarante-deux explosions expérimentales. La puissance des bombes atomiques est plus de vingt-cinq fois supérieure à celle des armes dont on disposait au seuil de l'âge atomique, (...) Le 16 juillet 1945, les Etats-Unis ont fait exploser, à titre d'expérience, la première bombe atomique. Depuis cette journée de 1945, les Etats-Unis d'Amérique ont réalisé quarante-deux explosions expérimentales. La puissance des bombes atomiques est plus de vingt-cinq fois supérieure à celle des armes dont on disposait au seuil de l'âge atomique, et la puissance des 470ème séance- 8 décembre 1953 armes à l'hydrogène équivaut à celle de millions de tonnes de tolite. 88. Aujourd'hui, la réserve d'armes atomiques des Etats-Unis, réserve qui, bien entendu, augmente chaque jour, a une force explosive plusieurs fois supérieure à la force explosive globale de toutes les bombes lancées par tous les avions, et de tous les obus tirés par tous les canons sur tous les théâtres d'opérations, pendant toute la durée de la deuxième guerre mondiale. Un groupe aérien, parti de porte-avions ou de la terre ferme, peut aujourd'hui à lui seul déverser sur tout objectif qui est à sa portée une charge destructrice dont la puissance dépasse celle de toutes les bombes jetées sur la Grande-Bretagne pendant la totalité de la deuxième guerre mondiale.

89. La dimension et la variété des armes atomiques ont évolué de manière non moins remarquable. L'évolution a été telle que ces armes sont pratiquement déjà classiques dans nos armées. En ce qui concerne les Etats-Unis, l'armée de terre, l'armée de mer, l'armée de l'air et l'infanterie de marine sont tous en mesure d'employer ces armes à des fins militaires. 90. Mais nous ne sommes pas les seuls à posséder le terrible secret et les redoutables instruments de la puissance atomique. 91. En premier lieu, le secret est entre les mains de nos amis et alliés, le Royaume-Uni et le Canada, dont le génie scientifique a contribué prodigieusement à nos premières découvertes et aux plans des bombes atomiques. 92. Le secret est connu aussi de l'Union soviétique, L'Union soviétique nous a fait savoir qu'au cours des dernières années, elle a consacré aux armes atomiques d'abondantes ressources. Pendant cette période, l'Union soviétique a fait exploser une série d'engins atomiques, dont un au moins comportait des réactions thermonucléaires. 93. S'il fut un temps où les Etats-Unis possédaient ce que l'on aurait pu appeler le monopole de l'énergie atomique, il y a plusieurs années que ce monopole a cessé d'exister. C'est pourquoi, bien que l'avance que nous avons nous ait permis d'accumuler ce qui constitue aujourd'hui un grand avantage quantitatif, les réalités actuelles du progrès atomique

nous obligent à deux constatations, d'une portée plus grande encore. La première, c'est que les connaissances que possèdent maintenant plusieurs nations, d'autres, et peut-être toutes, y auront ultérieurement part. La deuxième, c'est que, même si elle est considérable, la supériorité numérique des armes, et la possibilité, qui en découle, de représailles dévastatrices, ne peut nullement par elle-même prévenir les effroyables dégâts matériels et les effroyables pertes de vies humaines qu'infligerait une agression imprévue. 94. Conscient de ces deux faits, au moins d'une façon vague, le monde libre s'est naturellement lancé dans l'exécution d'un vaste programme de systèmes d'alerte et de défense. L'exécution de ce programme sera accélérée et amplifiée, Mais que l'on n'aille pas se figurer qu'il suffise de consacrer d'énormes sommes à la fabrication d'armes défensives et à la création de systèmes de défense pour garantir d'une manière absolue la sécurité des villes et des citoyens d'une nation, quelle qu'elle soit. L'atroce rigueur mathématique de la bombe atomique ne permet pas une solution aussi facile. Même s'il avait affaire au plus puissant système de défense, l'agresseur qui posséderait le minimum de bombes 485 atomiques qui suffit à une attaque par surprise pourrait probablement atteindre les objectifs qu'il aurait choisis d'assez de bombes pour causer des destructions effroyables. 95 (...) Mon pays veut construire, non pas détruire. Il cherche l'entente parmi les nations, et non la guerre. Il veut vivre libre, et sûr en même temps que le peuple de tous les autres pays jouit autant que lui du droit de choisir son propre mode de vie. Aussi mon pays cherche-t-il à nous aider à sortir des ténèbres qui nous oppressent, à trouver la voie par laquelle l'esprit humain, l'espoir, l'âme de tous les hommes pourra cheminer vers la paix, le bonheur et le bien-être (...) Nous n'avons jamais proposé ni suggéré que l'Union soviétique renoncât à ce qui lui appartient légitimement, et nous ne le ferons jamais. On ne nous fera jamais dire que les peuples de l'URSS sont un ennemi auquel nous n'aurions aucun désir de jamais avoir affaire ou avec qui nous refuserions d'avoir des relations amicales et fructueuses. 103. Au contraire, nous espérons que cette prochaine conférence pourra marquer le début d'une ère nouvelle dans nos relations avec l'Union soviétique et qu'il s'établira en fin de compte, entre les peuples de l'Est et ceux de l'Ouest, un régime de libres contacts, seul moyen humain et sûr de développer la compréhension nécessaire à l'instauration de relations confiantes et pacifiques. 104. Nous voulons voir dissipée l'atmosphère de méfiance qui règne actuellement en Allemagne orientale, en Autriche occupée et dans les pays d'Europe orientale, nous voulons voir les nations d'Europe vivre libres, dans une concorde familiale, sans que nulle d'entre elles soit une menace pour une autre, et encore moins pour les peuples de l'URSS. Nous voulons que les peuples d'Asie, au-delà des troubles, des luttes et des tourments, trouvent dans la paix l'occasion de développer leurs ressources naturelles et d'améliorer leur sort. (...) 110. Les Etats-Unis recherchaient plus que la réduction

ou l'élimination des matériaux atomiques utilisables à des fins militaires. Il ne suffit pas de retirer cette arme des mains des hommes de guerre. Il faut la mettre dans les mains de ceux qui sauront la dépouiller de son appareil militaire et l'adapter aux arts de la paix. 111. Les Etats-Unis savent que, s'il est possible de renverser la marche effrayante de la course aux armements atomiques, la plus grande des forces de destruction peut se changer en un grand bienfait pour l'humanité tout entière. Les Etats-Unis savent que l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques n'est pas un rêve de l'avenir. Cette possibilité, déjà démontrée, est là, devant nous, immédiatement, (...) 116. Il est certain que les contributions de début seraient d'un petit volume. Cependant, la proposition a le grand mérite de pouvoir être mise en œuvre sans susciter les froissements et les soupçons réciproques que provoque inévitablement toute tentative d'organisation d'un système complètement acceptable d'inspection et de contrôle à l'échelle du monde. 117. L'office de l'énergie atomique pourrait avoir pour tâche de prendre en charge, d'emmagasiner et de conserver les matières fissiles et autres apportées en contribution. L'habileté technique de nos savants permettrait de protéger cette banque des matières fissiles de telle manière qu'il soit pratiquement impossible de faire par surprise main basse sur ces produits. 118. La plus importante tâche de l'office de l'énergie atomique serait de concevoir des méthodes pour répartir 470ème séance-8 décembre 1953 487 ces matières fissiles de façon qu'elles servent à la réalisation des buts pacifiques que se propose l'humanité. Des experts seraient appelés à assurer l'application de l'énergie atomique aux besoins de l'agriculture, de la médecine ou d'autres arts de la paix, L'office attacherait une importance particulière à la fourniture d'une abondante énergie électrique aux régions du monde qui en sont dépourvues. 119. De cette façon, les Puissances contributaires consacraient une partie de leurs forces à satisfaire les besoins de l'humanité au lieu de susciter ses craintes. (...)

Annexe 3

EXTRAITS DU STATUT DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (Tel qu'amendé au 28 décembre 1989)

La présente annexe contient une sélection d'articles du Statut de l'AIEA, adopté en 1956 et modifié en 1989, en lien avec les missions de l'agence, le transfert de technologie et les engagements des États membres. (Texte reproduit à titre informatif et non exhaustif.)

Source : [Statute of the IAEA - French](#)

ARTICLE II - Objectifs : L'Agence s'efforce de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier. Elle s'assure, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

ARTICLE III - Fonctions : A. L'Agence a pour attributions: 1. D'encourager et de faciliter, dans le monde entier, le développement et l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques et la recherche dans ce domaine; si elle y est invitée, d'agir comme intermédiaire pour obtenir d'un de ses membres qu'il fournisse à un autre membre des services, des produits, de l'équipement ou des installations; et d'accomplir toutes opérations ou de rendre tous services de nature à contribuer au développement ou à l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques ou à la recherche dans ce domaine; 2. De pourvoir, en conformité du présent statut, à la fourniture des produits, services, équipement et installations qui sont nécessaires au développement et à l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques, notamment à la production d'énergie électrique, ainsi qu'à la recherche dans ce domaine, en tenant dûment compte des besoins des régions sous-développées du monde; 3. De favoriser l'échange de renseignements scientifiques et techniques sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques; 4. De développer les échanges et les moyens de formation de savants et de spécialistes dans le domaine de l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques; 5. D'instituer et d'appliquer des mesures visant à garantir que les produits fissiles spéciaux et autres produits, les services, l'équipement, les installations et les renseignements fournis par l'Agence ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle ne sont pas utilisés de manière à servir à des fins militaires; et d'étendre l'application de ces garanties, à la demande des parties, à tout accord

bilatéral ou multilatéral ou, à la demande d'un État, à telle ou telle des activités de cet État dans le domaine de l'énergie atomique (...) 7. D'acquérir ou d'implanter les installations, le matériel et l'équipement nécessaires à l'exercice de ses attributions, lorsque les installations, le matériel et l'équipement dont elle pourrait disposer par ailleurs dans la région intéressée sont insuffisants ou ne sont disponibles qu'à des conditions qu'elle ne juge pas satisfaisantes.

B. Dans l'exercice de ses fonctions, l'Agence: 1. Agit selon les buts et principes adoptés par les Nations Unies en vue de favoriser la paix et la coopération internationales, conformément à la politique suivie par les Nations Unies en vue de réaliser un désarmement universel garanti et conformément à tout accord international conclu en application de cette politique; 2. Etablit un contrôle sur l'utilisation des produits fissiles spéciaux reçus par elle, de manière à assurer que ces produits ne servent qu'à des fins pacifiques; 3. Répartit ses ressources de manière à assurer leur utilisation efficace et pour le plus grand bien général dans toutes les régions du monde, en tenant compte des besoins particuliers des régions sous-développées; 4. Adresse des rapports annuels sur ses travaux à l'Assemblée générale des Nations Unies et, lorsqu'il y a lieu, au Conseil de sécurité. Si des questions qui sont de la compétence du Conseil de sécurité viennent à se poser dans le cadre des travaux de l'Agence, elle en saisit le Conseil de sécurité, organe auquel incombe la responsabilité principale du maintien de la paix et de la sécurité internationales (...)

D. Sous réserve des dispositions du présent statut et de celles des accords conclus entre elle et un État ou un groupe d'États conformément aux dispositions du présent statut, l'Agence exerce ses fonctions en respectant les droits souverains des États. (...)

ARTICLE VIII Échange de renseignements : A. Il est recommandé à chacun des membres de mettre à la disposition de l'Agence les renseignements qui pourraient, à son avis, être utiles à l'Agence. B. Chaque membre met à la disposition de l'Agence tous les renseignements scientifiques qui sont le fruit de l'aide accordée par l'Agence en vertu de l'article XI. C. L'Agence rassemble et met à la disposition de ses membres, sous une forme accessible, les renseignements qu'elle a reçus en vertu des paragraphes A et B du présent article. Elle prend des mesures positives pour encourager l'échange, entre ses membres, de renseignements sur la nature et l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, et, à cet effet, sert d'intermédiaire entre ses membres.

Table des matières

INTRODUCTION	6
1. Aspects clés du transfert de technologie : la technologie nucléaire comme illustration des dynamiques sous-jacentes	6
2. Problématique et hypothèses:.....	7
3. Outils conceptuels, méthodologiques et sources bibliographiques :	8
CHAPITRE 1. CONCEPTS ET DYNAMIQUES	10
1. Transfert de technologie et connaissances.....	10
2. Transfert de technologie et géopolitique.	15
CHAPITRE 2. LA TECHNOLOGIE NUCLEAIRE ET SES DYNAMIQUES DE TRANSFERT.	23
1. Brève histoire de la technologie nucléaire, restrictions sur l'échange de connaissances et contrôle international de leur transfert.	23
2. Assistance internationale pour l'utilisation de la technologie nucléaire dans le secteur civil et promotion de l'échange de connaissances.	33
3. L'énergie nucléaire, actualité et avenir. Les connaissances et la technique nucléaire au service de la lutte contre le changement climatique.	36
CHAPITRE 3. LE CAS DU DEVELOPPEMENT NUCLEAIRE EN ARGENTINE.	44
1. Histoire nucléaire de l'Argentine, l'échange de connaissances et les restrictions internationales comme moteur de développements technologiques propres.....	44
2. Secteur nucléaire argentin, actualité et défis.	53
3. L'Argentine et son projet SMR, CAREM-25. L'avenir d'un projet pour l'autonomie technologique et l'opportunité de nouveaux marchés.....	58
CONCLUSION	68
BIBLIOGRAPHIE.....	74
CITOGRAFIE :.....	76
GLOSSAIRE	79
SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES	80
TABLE DES ANNEXES	82
ANNEXE 1 LETTRE D'ALBERT EINSTEIN ET LEO SZILARD AU PRESIDENT DES ÉTATS-UNIS.FRANKLIN D. ROOSEVELT (2 AOÛT 1939).....	83
ANNEXE 2 EXTRAITS DU DISCOURS DU PRESIDENT EISENHOWER A L'ASSEMBLEE GENERALE DES NATIONS UNIES (DECEMBRE 1953).....	85
ANNEXE 3 EXTRAITS DU STATUT DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (TEL QU'AMENDE AU 28 DECEMBRE 1989).....	89
Table des matières.....	91

MOTS-CLÉS : Transfert de technologie – énergie nucléaire – géopolitique – Argentine – souveraineté technologique -

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la transition énergétique mondiale et des efforts de lutte contre le changement climatique, les technologies nucléaires réapparaissent comme un levier stratégique de décarbonation. Cette thèse explore la manière dont les transferts de technologie et les échanges de connaissances dans le secteur nucléaire sont façonnés par des cadres géopolitiques et institutionnels, influencés par les intérêts stratégiques de divers acteurs internationaux. À travers une analyse théorique et historique du contrôle de la technologie nucléaire et une étude du rôle de l'Argentine—en particulier son projet SMR CAREM—ce travail met en lumière l'interaction entre souveraineté technologique, coopération multilatérale et enjeux de sécurité. Il examine également le potentiel d'un développement accru de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, aligné sur les objectifs climatiques et stratégiques mondiaux.

KEYWORDS : Technology transfer – nuclear energy – geopolitics – Argentina – technological sovereignty -

ABSTRACT

Amid the global energy transition and efforts to combat climate change, nuclear technologies are re-emerging as a strategic tool for decarbonization. This thesis explores how technology transfers and knowledge exchanges in the nuclear sector are shaped by geopolitical and institutional frameworks, influenced by the strategic interests of various international actors. Through a theoretical and historical analysis of nuclear technology control and an examination of Argentina's role—particularly its SMR CAREM project—this study highlights the interplay between technological sovereignty, multilateral cooperation, and security concerns. It also considers the potential for an expanded peaceful use of nuclear energy in line with global climate and strategic objectives.

