

Des électrons, des roches et des cerveaux

La puissance du Canada au sein de
la nouvelle donne géopolitique

Bentley Allan, Ph. D.

Conseiller principal, trajectoires de transition, L'Accélérateur de transition

Derek Eaton, Ph. D.

Directeur de l'économie du futur, L'Accélérateur de transition

Jonas Goldman

Associé de recherche principal, Université Johns Hopkins

Février 2024

Version 1.0



CENTRE FOR
NET-ZERO
INDUSTRIAL POLICY

LE CENTRE DE
POLITIQUE INDUSTRIELLE
POUR LA CARBONEUTRALITÉ

The Transition
Accelerator



L'Accélérateur
de transition

À propos du Centre de politique industrielle pour la carboneutralité et de l'Accélérateur de transition

Le Centre de politique industrielle pour la carboneutralité est un carrefour virtuel pour les chercheurs et les praticiens en politique industrielle. Établi par l'Accélérateur de transition, le centre réunit des chercheurs et chercheuses affiliés à des universités et à des instituts de recherche, ainsi que d'organisations partenaires qui analysent et formulent activement des recommandations en matière de politique industrielle. Pour en savoir plus, consultez le site netzeroindustrialpolicy.ca.

L'Accélérateur de transition est une organisation pancanadienne qui coopère avec d'autres acteurs pour identifier et faire avancer les trajectoires viables vers un Canada prospère, compétitif et carboneutre d'ici 2050. Pour en savoir plus, consultez le site accelerateurdetransition.ca.

À propos des auteurs

Bentley Allan, Ph. D., est conseiller principal en trajectoires de transition pour l'Accélérateur de Transition, ainsi que professeur associé de sciences politiques à l'Université Johns Hopkins.

Derek Eaton, Ph. D., est directeur de l'économie du futur pour l'Accélérateur de transition.

Jonas Goldman est associé de recherche principal à l'Université Johns Hopkins.

Pour citer ce document :

Allan B., Eaton D., Goldman J. (2024). Des électrons, des roches et des cerveaux. La puissance du Canada au sein de la nouvelle donne géopolitique. Centre de politique industrielle pour la carboneutralité, Accélérateur de transition. Version 1.0

Introduction

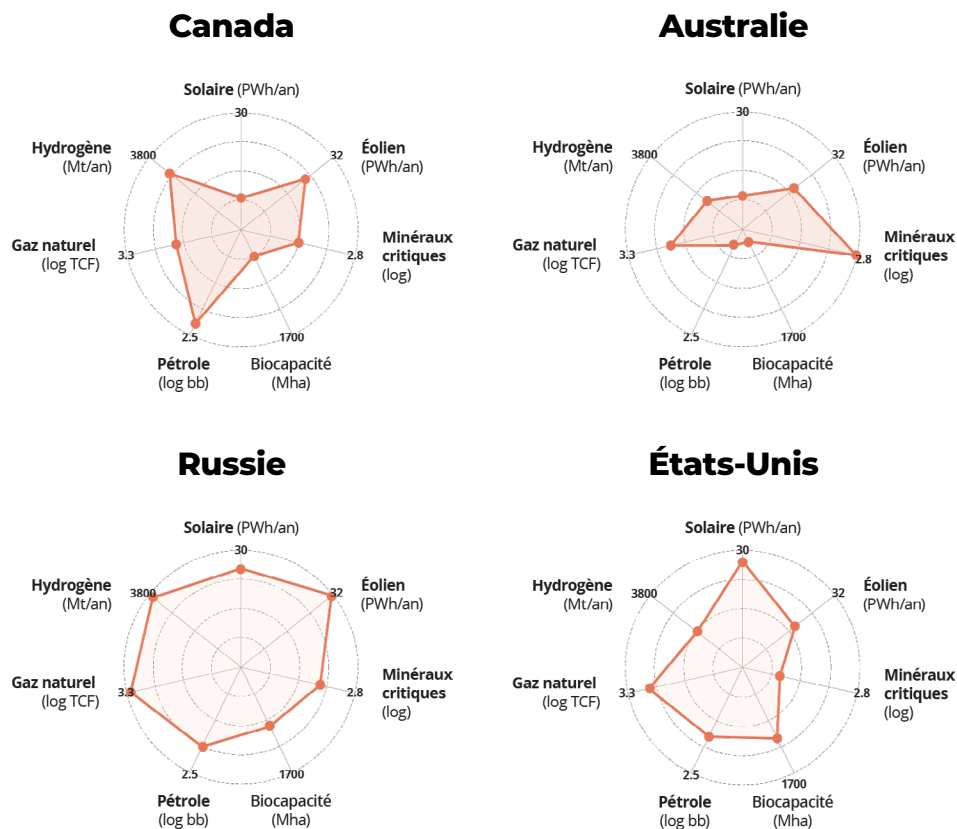


Figure 1. Graphiques en radar évaluant la dotation en nouvelles ressources énergétiques du Canada par rapport à trois autres pays.

Le Canada considère comme acquise sa position au sein de la donne géopolitique mondiale, mais la transition énergétique change déjà cette géopolitique et fait bouger les fondements du pouvoir national. L'ancienne géopolitique reposait sur le pétrole. Le Canada y a prospéré en tant que puissance énergétique, mais il risque de perdre sa position dans le monde des nouvelles énergies. Ce document présente les résultats d'une étude originale sur l'énergie et d'autres ressources menée par le Centre de politique industrielle pour la carboneutralité afin de montrer le potentiel du Canada dans la nouvelle économie énergétique.

Ce document présente la position du Canada dans une perspective comparative et évalue son rôle géopolitique potentiel. Les données

montrent que le Canada a les ressources nécessaires pour jouer un rôle de premier plan, mais pour y parvenir, il lui faudra :

- Élaborer une stratégie visant à exploiter ses ressources nationales pour le plus grand bénéfice de tous les Canadiens ;
- Identifier où se situe l'avantage comparatif du Canada au sein de cette nouvelle donne en assurant un soutien gouvernemental aux investisseurs avisés ;
- Développer des capacités de production et d'innovation avancées (« les cerveaux ») dans le traitement des matériaux pour les chaînes d'approvisionnement carboneutres ;
- Organiser l'approvisionnement, la diplomatie, le commerce et les politiques publiques entre les différents ministères et programmes afin de soutenir le développement des ressources nationales.

Le Canada considère souvent comme acquise sa position au sein de l'ordre géopolitique mondial. C'est un pays du G7, un fidèle allié des États-Unis et l'un des principaux exportateurs de pétrole et de gaz. Les fondements de sa sécurité et de sa prospérité semblent solides et sûrs. Toutefois, les changements en cours qui transforment la filière énergétique mondiale créent un risque de perte pour l'économie canadienne, avec des effets de contagion à la baisse sur sa position mondiale.

Une nouvelle dynamique concurrentielle entre la Chine, les États-Unis et l'UE alimente les investissements dans les énergies renouvelables, les batteries, l'hydrogène et les minéraux critiques. Ces pays cherchent à atteindre trois objectifs : la décarbonation, la sécurité et le développement économique. Une politique industrielle permet d'atteindre ces trois objectifs en même temps.

Au XXe siècle, la géopolitique visait essentiellement à assurer les approvisionnements en pétrole et en gaz naturel. Aujourd'hui, elle s'articule plutôt autour de la production d'énergie propre et la transformation des matières premières en produits chimiques et matériaux avancés. Les pays qui comptent dans ce nouvel ordre mondial sont ceux qui mettront sur pied de l'énergie propre et des capacités de fabrication en s'appuyant sur d'importantes ressources en eau, en énergie éolienne, en énergie solaire, en minéraux critiques et en connaissances.

Prenons le cas du Maroc : le Maroc n'est pas un acteur important dans la donne géopolitique actuelle, car il n'est pas l'un des principaux fournisseurs de combustibles fossiles ou de minéraux critiques. Mais le pays tire parti de ses ressources solaires et éoliennes de classe mondiale, de sa proximité avec l'Europe et de son environnement propice à l'investissement dans la fabrication d'hydrogène et de batteries.¹ Ce cas illustre de quelle façon le changement géopolitique va redistribuer le pouvoir et créer des gagnants et des perdants.

Quelle sera la position du Canada dans ce nouveau contexte ? Ce document présente les résultats d'une analyse originale menée par le Centre de politique industrielle pour la carboneutralité. Notre analyse quantifie le potentiel d'un pays à contribuer à la nouvelle donne énergétique en fonction de sept indicateurs essentiels : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'hydrogène, les minéraux critiques, la biocapacité, le gaz naturel et le pétrole. Le Canada occupe une position forte dans ces sept domaines, ce qui signifie qu'il a le potentiel de devenir un acteur géopolitique clé dans l'ordre à venir, à condition que la valeur ajoutée associée et les chaînes d'approvisionnement carboneutres puissent garantir des avantages durables en termes de coûts par rapport aux pays concurrents.

Toutefois, le développement du secteur canadien des ressources en faveur de chaînes d'approvisionnement carboneutres a été lent. La politique industrielle carboneutre du Canada s'est concentrée jusqu'ici sur la chaîne d'approvisionnement des batteries. Avec le soutien du gouvernement fédéral, l'Ontario et le Québec ont réalisé des investissements historiques dans la chaîne d'approvisionnement des batteries. Il s'agit maintenant de construire horizontalement dans d'autres secteurs et verticalement dans la chaîne d'approvisionnement en amont.

Les investissements dans les batteries ont montré à tous les niveaux du gouvernement canadien, y compris aux conservateurs du premier ministre Ford, que l'énergie à faible teneur en carbone est essentielle à la prospérité. Comme l'a souligné un développeur de projet, « pas d'énergie verte, pas de projet² ». Le Canada est riche en énergie propre, mais il devra rapidement accroître sa production s'il veut répondre à la demande croissante de véhicules électriques et de thermopompes tout en augmentant sa capacité de fabrication.

Au-delà de l'industrie manufacturière, le Canada a besoin d'un effort concerté pour développer des capacités avancées (« les cerveaux ») dans les secteurs minier et forestier afin d'assurer la position de ces secteurs dans le nouvel ordre mondial. Cependant, cet objectif ne peut être atteint sur la seule base de l'extraction. C'est le secteur intermédiaire de ces chaînes d'approvisionnement, où les minéraux sont transformés en matériaux et les fibres en produits, qui est véritablement important. Stimuler le secteur des ressources signifie combiner l'expertise du

Canada en matière d'exploitation des ressources avec les connaissances et les technologies au sein de carrefours d'innovation pour l'hydrogène, les minéraux et les produits de la bioéconomie. Pour tenir sa promesse, le Canada a besoin d'une stratégie nationale en matière de ressources qui le positionnera comme un acteur clé dans la nouvelle donne géopolitique.

L'énergie et l'ordre mondial

L'ordre mondial est fondé sur la politique énergétique : les États, les institutions, les règlements et les flux qui façonnent la sécurité mondiale et la dynamique économique reposent sur la production, la distribution et la consommation d'énergie³.

Depuis 1939, l'ordre mondial repose sur le pétrole et le gaz naturel⁴. La meilleure façon de comprendre les initiatives diplomatiques et les événements macroéconomiques cruciaux est à travers le prisme du pétrole. Après la Seconde Guerre mondiale, les États-Unis se sont efforcés d'instaurer des régimes amis au Moyen-Orient, non pas parce qu'ils avaient besoin de pétrole – ils étaient exportateurs de pétrole après tout –, mais pour s'assurer que leurs alliés en Europe resteraient indépendants du pétrole russe.

Aujourd'hui, la tâche est différente. Les États-Unis et leurs alliés dépendent de chaînes d'approvisionnement en énergie propre dominées par la Chine. La position dominante de la Chine sur les chaînes d'approvisionnement en énergie solaire, en énergie éolienne, en batteries et en minéraux critiques constitue un handicap stratégique pour l'Occident. L'Histoire nous enseigne que les États-Unis travailleront d'arrache-pied pour s'assurer que leurs principaux alliés ne demeurent pas tributaires des ressources et de l'énergie de la Chine et de la Russie.

Le Canada peut conserver sa place dans le nouvel ordre géopolitique en fournissant l'éventail des ressources énergétiques qui seront nécessaires. Comme le montre l'Alliance Canada-Allemagne pour l'hydrogène, les ressources du Canada sont un élément clé du plan de l'UE pour se défaire de sa dépendance au pétrole russe. L'Europe a peut-être pu passer l'hiver 2022-2023 sans le gaz russe, mais les conséquences commencent tout juste à se faire sentir avec l'augmentation des prix de l'énergie et une baisse de compétitivité de l'industrie manufacturière allemande⁵. Le gaz naturel liquéfié (GNL) ne peut résoudre le problème, car il coûte au moins deux fois plus cher que le gaz russe. Il reste du travail à faire pour construire un ordre énergétique qui ne dépende pas du gaz russe ou des minéraux chinois. Le Canada peut soutenir cet objectif en fournissant l'énergie, les minéraux et les technologies propres dont ses alliés ont besoin.

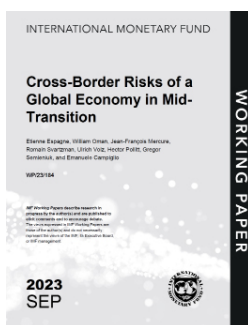
La nouvelle géopolitique

Les pays qui peuvent jouer un rôle prépondérant dans l'approvisionnement en nouvelles formes d'énergie verront leur importance relative augmenter. Certains pays, comme le Maroc, deviennent de nouvelles plaques tournantes pour l'investissement chinois. Les entreprises chinoises ont investi 20 milliards de dollars américains dans les capacités de production d'énergie propre et de batteries du Maroc en raison de sa proximité avec les marchés et de son statut favorable en vertu de son accord de libre-échange avec les États-Unis. Le Maroc fait partie d'une série de pays, dont l'Australie, l'Indonésie et le Vietnam, qui sont en voie de devenir des « puissances moyennes » dans le nouvel ordre. Si le Canada veut s'imposer et conserver sa position de puissance moyenne, il doit jouer un rôle en tant que fournisseur de ressources et de capacités manufacturières critiques pour la transition énergétique.

Dans l'ordre mondial actuel, l'énergie est principalement transportée grâce aux combustibles fossiles. Garantir un accès sûr à des sources de combustibles fossiles a été le facteur prédominant de la géopolitique internationale. Dans la nouvelle économie de l'énergie, il importerait qu'il y ait une plus grande variété de modes de production et de vecteurs énergétiques. Les énergies renouvelables seront à l'avant-scène, avec la biomasse dans un rôle de soutien. L'hydrogène et l'ammoniac seront des vecteurs essentiels. Des minéraux critiques seront nécessaires pour la fabrication des batteries, des lignes de transmission, des turbines et des panneaux solaires qui sont indispensables à la production et au transport de l'énergie sous forme d'électrons. En fonction de la dynamique du marché, le pétrole risque de devenir un handicap à partir de la fin de la prochaine décennie, mais le gaz naturel continuera de faire partie de l'ordre énergétique, en particulier lorsqu'il est associé au captage, à l'utilisation et au stockage du CO₂ (CUSC).

La transformation de l'économie mondiale aura de profondes répercussions sur les modèles et les flux du commerce international de l'énergie et d'autres biens. Cela aura à son tour des conséquences importantes sur la balance des paiements et des taux de change de nombreuses économies importatrices et exportatrices. En tant que petite économie ouverte, le fondement du pouvoir et de la prospérité du Canada, actuellement défini par son rôle de grand producteur de combustibles fossiles, est menacé. Le Canada est confronté à des risques considérables en ce qui concerne ses exportations, sa balance des paiements et ses perspectives de croissance.

Le Canada dispose d'importantes réserves de pétrole et de gaz naturel, mais le



Source: [Cross-Border Risks of a Global Economy in Mid-Transition \(Working Paper\)](#)
 FMI, septembre 2023

rôle du pays dans les marchés d'exportation internationaux est très incertain à l'heure de la transition énergétique, étant donné ses coûts relativement élevés par rapport à ceux de la plupart des pays de l'OPEP. Une analyse récente publiée par le FMI estime que la balance commerciale du Canada pourrait diminuer de 2 à 3 % du PIB d'ici 2050 en raison de la baisse des exportations de combustibles fossiles (voir figure 2)⁶. Parmi les pays du G20, seules la Russie, l'Arabie saoudite et l'Afrique du Sud risquent d'être encore plus touchées selon cette analyse. En outre, à mesure que progresse la transition, les marchés des combustibles fossiles sont susceptibles de connaître une instabilité continue des prix en raison de l'apparition répétée de contraintes d'approvisionnement dans les chaînes d'approvisionnement en énergies renouvelables.

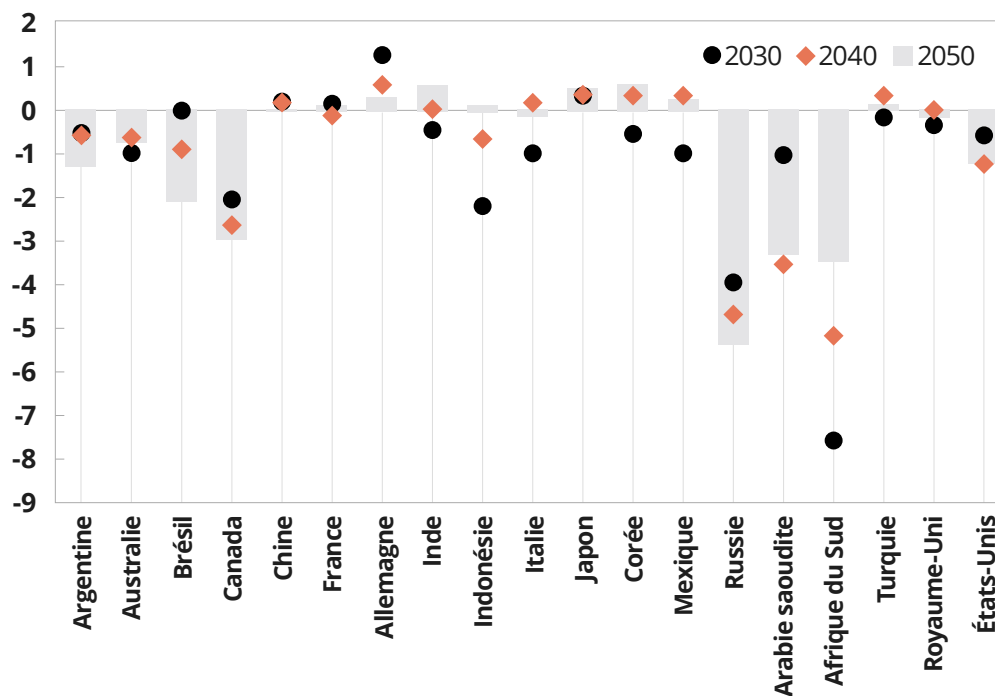


Figure 2 : Variation de la balance commerciale par rapport au PIB de référence (%).

Pour avoir une chance de maintenir sa position et sa prospérité, il est nécessaire d'ajuster sa trajectoire. Les pressions exercées sur la compétitivité globale et la balance des paiements du Canada pourraient être atténuées en explorant de nouvelles possibilités d'exportation, en particulier dans le secteur de l'hydrogène, des minéraux critiques et de la bioéconomie.

Le Canada dispose d'opportunités prometteuses pour transformer sa position dans le nouveau paysage géopolitique façonné par la transition énergétique. Grâce à ses ressources et à son profil énergétique, le Canada compte plusieurs avantages stratégiques dans le nouvel ordre géopolitique qui se dessine. Alors que ses principaux partenaires commerciaux et alliés stratégiques cherchent à rendre leurs activités carboneutres, les secteurs des minéraux, de l'énergie renouvelable

et des bioressources pourront tirer avantage d'occasions favorables dans plusieurs chaînes de valeur avec des partenaires commerciaux en Amérique du Nord, en Asie de l'Est et en Europe.

Par rapport à certains pays concurrents, le Canada est en exceptionnellement bonne posture grâce à ses ressources naturelles, qui lui permettront de passer du statut d'exportateur de pétrole et de gaz naturel à celui d'exportateur d'énergies renouvelables et de technologies propres. Pour y parvenir, les gouvernements fédéral et provinciaux doivent élaborer une stratégie industrielle proactive afin de développer ses ressources naturelles et sa base manufacturière.

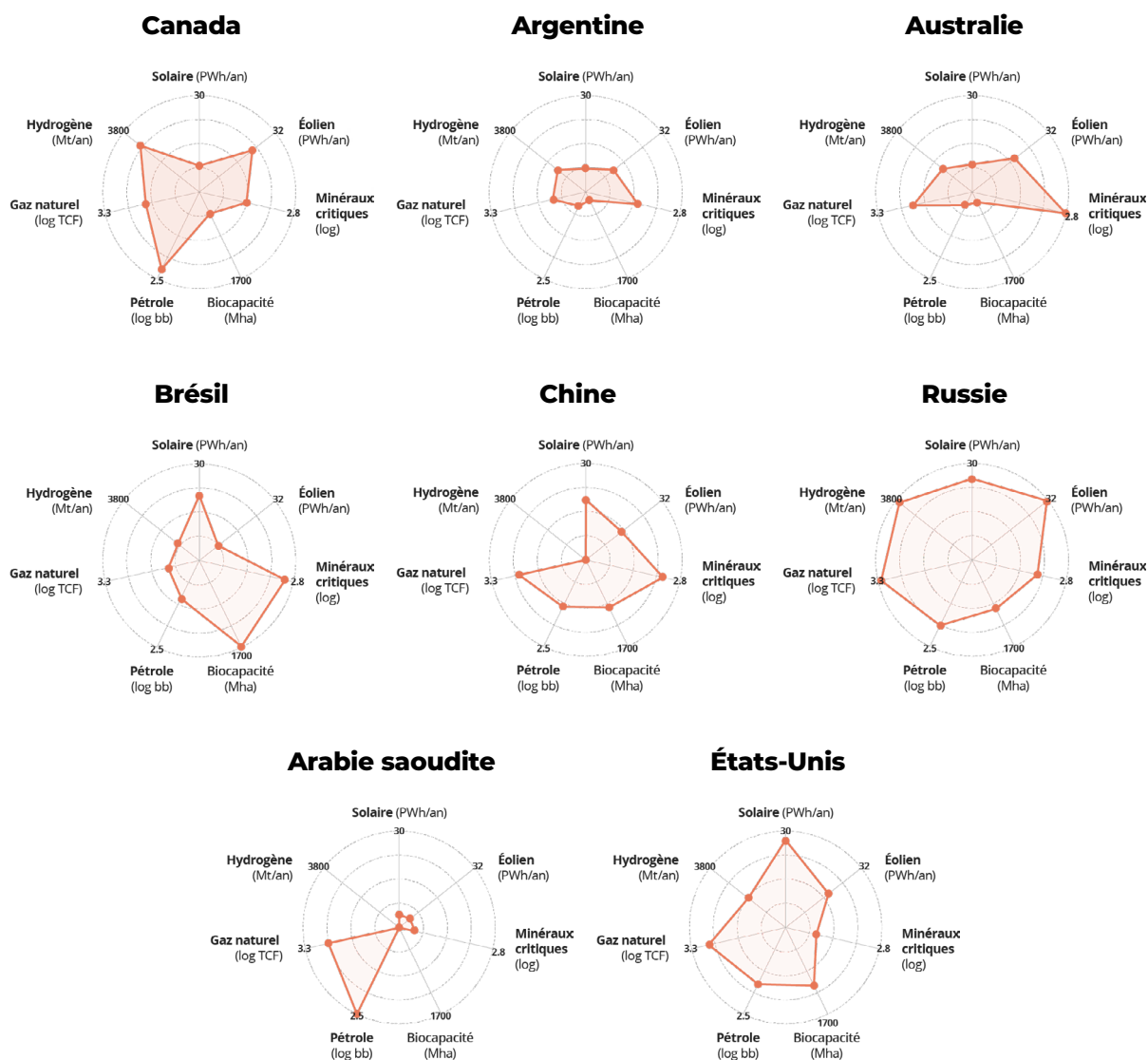


Figure 3. Graphiques en radar évaluant la dotation en nouvelles ressources énergétiques dans huit pays de premier plan.

La figure 3 présente des graphiques en radar originaux élaborés par le Centre de politique industrielle pour la carboneutralité sur la base d'ensembles de données publiés et comparables au niveau international. Les graphiques montrent différents profils de ressources, mettant en évidence les points forts et les points faibles d'une série de pays qui constituent des acteurs importants sur le plan de l'énergie et des ressources. Il s'agit des principales options pour les pays d'Europe et d'Asie de l'Est qui resteront dépendants des sources d'énergie et des ressources étrangères. Le graphique comprend les deux ressources énergétiques dominantes, le pétrole et le gaz naturel, ainsi qu'un certain nombre de ressources clés dans la transition énergétique. La méthodologie est expliquée plus en détail en annexe.

Comme le montrent les graphiques, les superpuissances en matière de ressources seront, dans cet ordre mondial, les États-Unis, la Chine et la Russie. Avec de grandes masses terrestres, chacun de ces pays possède d'importantes ressources solaires et éoliennes. Ce potentiel renouvelable, combiné aux ressources en eau douce des États-Unis et de la Russie, crée un potentiel pour l'hydrogène. La Chine, bien qu'elle manque d'eau douce, pourrait être en mesure de développer son potentiel en hydrogène grâce au dessalement. Toutefois, il est peu probable qu'elle devienne un exportateur net.

Le Canada a le potentiel pour être un leader dans le deuxième groupe de pays : un groupe comprenant l'Australie, le Brésil, l'Argentine et l'Inde qui ont des territoires étendus et donc les ressources nécessaires pour contribuer à la carboneutralité mondiale. Le potentiel du Canada en matière d'énergie solaire est comparable à celui de l'Australie et de l'Argentine, mais il est dépassé par le Brésil et d'autres pays, que ce soit en raison de leurs latitudes plus ensoleillées (États-Unis, Chine) ou de leur plus grande superficie (Russie).

Toutefois, le potentiel du Canada en tant que grand producteur d'énergie éolienne dépasse celui de l'Argentine, de l'Australie et du Brésil. Les ressources éoliennes du Canada, combinées à ses ressources en eau, en font l'un des pays avec le plus grand potentiel de production d'hydrogène vert au monde (dépassé seulement par la Russie). Ces avantages dans le domaine des nouvelles sources d'énergie sont encore plus prometteurs pour le Canada que ne le montrent les chiffres de base, étant donné que le Canada occupe déjà une position de leader vu la faible intensité carbone de son réseau. Un réseau propre étendu offre un avantage comparatif pour le traitement et la fabrication de matériaux et de produits dans les chaînes d'approvisionnement carboneutres, tels que les métaux et les matériaux pour les batteries, ainsi que les bioproduits.

La position relative du Canada en matière de réserves de minéraux critiques est plus modeste, mais toujours prometteuse, compte tenu de l'ampleur des augmentations de l'offre nécessaires pour soutenir l'électrification, y compris dans le secteur des véhicules électriques, mais aussi pour d'autres utilisations. Le marché des minéraux clés pour la transition énergétique a doublé au cours des cinq dernières années, atteignant 320 milliards de dollars américains en 2022, et une croissance encore plus forte est prévue dans les prochaines années⁷. Le Canada est déjà un pays minier de premier plan. Les activités d'exploration pour certains minéraux, tels que le lithium et le nickel⁸, est forte. La proximité géographique relative du Canada avec les États-Unis et surtout avec l'Europe constitue un avantage supplémentaire.

En ce qui concerne la biocapacité, le Canada dispose d'un territoire étendu, mais sa productivité biologique est inférieure à celle du Brésil, de la Chine et des États-Unis. À certains égards, il s'agit d'un indicateur de ressources pour lequel la population a aussi son importance, car la biocapacité est également nécessaire pour répondre aux besoins alimentaires nationaux et aux autres besoins de consommation. Avec 214 millions d'habitants, la population du Brésil est plus de cinq fois supérieure à celle du Canada, ce qui signifie que la biocapacité par habitant du Canada est à peu près comparable (et dépasse certainement celle des États-Unis). Le Canada pourrait donc avoir des possibilités d'exportation équivalentes à celles d'autres grands pays en ce qui concerne les bioproduits tels que le carburant d'aviation durable et les produits forestiers à valeur ajoutée, y compris le bois massif et d'autres produits.

De nombreuses leçons peuvent être tirées de l'examen de ces graphiques. Il est clair, par exemple, que malgré sa situation subtropicale et son exposition au rayonnement solaire, les perspectives de l'Arabie saoudite en tant que puissance énergétique renouvelable sont fortement limitées par sa petite taille géographique et son manque d'eau. Ne disposant pas non plus de réserves minérales ou de biocapacité significatives, l'Arabie saoudite sera très encline à s'appuyer le plus longtemps possible sur ses combustibles fossiles, dont l'exploitation est, par chance, relativement peu coûteuse. Le contraste avec le Canada, l'un des principaux pays producteurs de combustibles fossiles, qui peut également fournir des ressources pour la transition énergétique, est frappant.

Conclusion – Des connaissance et une stratégie sont nécessaires pour libérer le potentiel des roches et des électrons

Le Canada est très bien placé, compte tenu de ses ressources naturelles, pour prospérer pendant la transition énergétique. Pour ce faire, il lui faudra toutefois une vision et une stratégie proactives pour développer ses nouveaux secteurs de compétitivité dans les domaines de l'hydrogène, des minéraux critiques et des bioressources. Le Canada a besoin de plus d'investissements. Mais le pays a surtout besoin d'un processus simple et puissant pour identifier et tirer profit de ses points forts en tant que nation⁹ :

- Inventorier les ressources nationales potentielles dans les sept domaines décrits ici, et identifier les domaines où l'offre mondiale sera limitée.
- Comparer le potentiel du Canada pour 2050 aux projets actuels, aux tendances en matière d'investissement et aux orientations politiques.
- Élaborer une stratégie visant à maximiser les bénéfices et les avantages de l'exploitation des ressources nationales pour les Canadiens. Par exemple, l'industrie forestière a proposé une stratégie nationale de bioéconomie qui permettrait d'identifier les meilleures utilisations de la fibre de bois dans le cadre d'un plan visant à mettre en œuvre une production à valeur ajoutée dans toutes les chaînes d'approvisionnement forestières¹⁰.
- Identifier et développer des capacités fondées sur la connaissance dans ces nouveaux secteurs. Le Canada a besoin de « cerveaux » pour associer son économie des ressources à des technologies innovantes (y compris par la propriété intellectuelle) au sein de grappes dynamiques et orientées vers l'exportation¹¹. Le défi consiste à s'assurer que les maillons innovants de ces chaînes d'approvisionnement s'enracinent et s'épanouissent autant que possible, en améliorant à la fois la valeur ajoutée et l'autonomie stratégique.
- Aligner l'approvisionnement, la diplomatie, le commerce et la politique publique dans le cadre d'une collaboration à plusieurs niveaux réunissant les communautés autochtones, les gouvernements provinciaux et les organismes fédéraux.

Les actions clés ne sont pas très compliquées, et les gouvernements nationaux et provinciaux en entreprennent un grand nombre actuellement, mais pas nécessairement de manière coordonnée ou prioritaire. Ce qui est encourageant, c'est que le Canada a déjà agi de la sorte par le passé. Le succès du pays en tant que producteur de pétrole et de gaz naturel repose sur les efforts concentrés et coordonnés des gouvernements et de l'industrie pour développer les technologies et le savoir-faire nécessaires à l'exploitation économique de ses ressources en sables bitumineux. De même, la réussite du secteur automobile canadien – la deuxième plus importante source de recettes d'exportation – repose également sur une stratégie délibérée et un ensemble de politiques qui ont assuré la croissance du secteur et le succès de son intégration dans les chaînes d'approvisionnement américaines en cours de consolidation¹².

Les processus politiques et la combinaison spécifique des différentes mesures – politiques d'innovation, investissements publics, incitations financières, mesures commerciales, etc. – doivent cependant nécessairement être différents de ceux qui ont fait progresser le secteur des combustibles fossiles ou de l'automobile. L'économie mondiale et les conditions permettant d'assurer la compétitivité continuent d'évoluer et de changer. Pour garantir le succès, les décideurs politiques et les autres acteurs doivent tirer des leçons du passé, des réussites comme des échecs, y compris des expériences des pays pairs.

Le potentiel est évident. Le défi pour le Canada et sa capacité d'établir une stratégie en terme de politiques économiques est considérable. L'ampleur sans égale de la destruction créatrice et de la reconfiguration des chaînes d'approvisionnement, ainsi que les mouvements des investissements qui en découlent, sont difficiles à appréhender. La manière dont le Canada relèvera ce défi aura un impact majeur sur la prospérité du pays et de ses diverses économies régionales. De façon tout aussi importante, cette transition affectera la position et l'autonomie du pays dans le nouvel ordre géopolitique qui émergera au cours des 10 à 20 prochaines années.

Annexe – Méthodologie

Cette recherche a mesuré sept variables basées sur les ressources de différents pays afin de fournir une indication de la puissance géopolitique potentielle relative dans le domaine de l'énergie, en les isolant des autres facteurs influençant l'énergie, tels que la capacité militaire, les capacités industrielles, la population, etc. Les sept variables sélectionnées étaient : le potentiel de production solaire, le potentiel de production éolienne, le potentiel de production d'hydrogène, les réserves de minéraux critiques, la biocapacité, les réserves de pétrole et les réserves de gaz naturel.

Il est à noter que l'hydrogène se distingue des six autres ressources par le fait qu'il est un vecteur d'énergie et non un intrant. L'analyse inclut l'hydrogène vert, mais exclut l'hydrogène bleu, compte tenu d'une préférence probable pour l'hydrogène sans émissions de la part des principaux pays importateurs. Les sources de données et les calculs sont décrits ci-dessous pour chacun des indicateurs utilisés.

Le potentiel solaire est tiré de l'ensemble de données SolarGIS de la Banque mondiale, en utilisant l'indicateur de niveau 1 pour la production photovoltaïque (PV) potentielle à grande échelle¹³. Cet indicateur de niveau 1 exclut les zones dont on estime qu'elles ne se prêtent pas au développement PV à des fins commerciales, en raison de contraintes physiques ou techniques liées à l'utilisation du territoire. Divers autres indicateurs, provenant notamment de cette publication ou d'autres, ont été envisagés. Une analyse plus détaillée pourrait déterminer un indice basé sur une série d'indicateurs différents, en utilisant des hypothèses alternatives concernant l'utilisation du territoire et l'applicabilité de la technologie. Une comparaison a été effectuée et un indicateur a été choisi pour faciliter l'interprétation, tout en évitant les hypothèses fondées sur des conditions limites.

Le potentiel éolien est mesuré sur la base des données fournies par Tonelli et al. (2023), qui estiment la capacité maximale en TWh/an qu'un pays peut produire à partir des ressources éoliennes terrestres ou des ressources solaires photovoltaïques si tous les territoires propices disponibles sont utilisés pour le solaire ou l'éolien¹⁴. L'analyse supposait l'utilisation de 100 % de tous les territoires considérés comme propices à l'éolien, à l'exclusion des terres forestières et agricoles et des terrains urbains ; 10 % des terres forestières et 70 % des terres agricoles ont été jugées propices à la production d'énergie éolienne. Aucun terrain urbain n'a été considéré comme adapté à l'éolien.

Le potentiel de production d'hydrogène a été estimé en utilisant une moyenne de la production totale basée sur les ressources solaires ou éoliennes, en considérant la disponibilité de l'électricité ou de l'eau comme facteur limitant. Les estimations du potentiel solaire et éolien ont été utilisées pour déterminer la production potentielle d'hydrogène, en soustrayant la demande nationale en électricité¹⁵. L'hypothèse retenue supposait une efficacité d'électrolyse de 50 kWh par kg d'hydrogène produit. Les besoins en eau ont été estimés à 32 kg par kg d'hydrogène pour la production solaire photovoltaïque et à 22 kg par kg d'hydrogène pour la production éolienne¹⁶. La disponibilité de l'eau a été calculée comme la quantité totale d'eau disponible moins la consommation d'eau¹⁷.

La possibilité d'augmenter la quantité d'eau disponible par dessalement n'a pas été prise en compte dans l'analyse initiale. Ce procédé pourrait accroître la production d'hydrogène vert pour un certain nombre de pays disposant de ressources en eaux côtière et d'un potentiel de production d'énergie renouvelable

Pour les options de production éolienne et solaire, la production potentielle d'hydrogène se basait sur le facteur limitant, c'est-à-dire l'électricité ou l'eau. L'estimation finale utilisée représente la moyenne des deux estimations de production d'hydrogène résultant respectivement de la production solaire et de la production éolienne. Il est à noter que les prélèvements négatifs d'eau au-delà des disponibilités nationales ont donné lieu à un score négatif pour l'hydrogène dans certains pays, auquel cas une valeur de zéro a été attribuée.

Aucun indicateur approprié du potentiel en minéraux critiques des pays n'a pu être dégagé de la littérature existante. L'indicateur utilisé a été calculé sur la base des réserves nationales de sept minéraux (cobalt, cuivre, lithium, nickel, manganèse, phosphate et bauxite) à partir des données de l'USGS¹⁸. Pour chaque minerai, les réserves nationales ont été calculées proportionnellement à la plus grande réserve nationale à l'échelle mondiale. On a ensuite calculé la moyenne de ces sept valeurs proportionnelles et une échelle logarithmique a été utilisée.

La biocapacité nationale est fondée sur l'ensemble des données du Global Footprint Network de l'Université York¹⁹. Elle est basée sur une estimation de la productivité biologique, mesurée selon une valeur standardisée à l'hectare. Pour la présente analyse, la somme de la biocapacité des terres cultivées, des terres forestières et des pâturages a été calculée.

Les réserves de pétrole et de gaz naturel sont tirées de l'Administration américaine d'information sur l'énergie²⁰. Une échelle logarithmique a été utilisée.

Notes de fin

1 <https://www.netzeropolicylab.com/s/GP01-Morocco-vf.pdf>

2 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-10-09/swedish-industrialists-explore-6-billioncanada-steel-project>

3 Yergin, Daniel. *The New Map: Energy, Climate and the Clash of Nations*. Penguin Press, 2021; Thompson, Helen. *Disorder: Hard times in the 21st century*. Oxford University Press, 2022.

4 Colgan, Jeff D. *Partial hegemony: Oil politics and international order*. Oxford University Press, 2021; Vitalis, Robert. *Oilcraft: the myths of scarcity and security that haunt US energy policy*. Stanford University Press, 2020; Kelanic, Rosemary A. *Black gold and blackmail: Oil and great power politics*. Cornell University Press, 2020.

5 <https://www.ft.com/content/7ed06bf8-fe60-4127-b5fe-c8181a0ec8cb>

6 <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2023/09/08/Cross-Border-Risks-of-a-Global-Economyin-Mid-Transition-538950>

7 <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>

8 <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>

9 See, Allan and Eaton, *Critical Next Steps to Ensure Canada's Competitiveness*. 2023. <https://netzeroindustrialpolicy.ca/reports/critical-next-steps-to-ensure-canadas-future-competitiveness>

10 <https://www.fpac.ca/reports/canadas-bioeconomy-strategy-leveraging-our-strengths-for-a-sustainable-future>

11 Cimoli, Mario, Giovanni Dosi, and Joseph E. Stiglitz. 2009. "The Political Economy of Capabilities Accumulation: The Past and Future of Policies for Industrial Development." In *Industrial Policy and Development: The Political Economy of Capabilities Accumulation*, edited by Mario Cimoli, Giovanni Dosi, and Joseph E. Stiglitz, O. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199235261.003.0001>

12 Harris, Richard G. 2015. *Trade, Industrial Policy, and International Competition*, Second Edition · Books · 49th Shelf. McGill-Queen's University Press. <https://49thshelf.com/Books/T/Trade-Industrial-Policy-and-International-Competition-Second-Edition3>

13 World Bank. *Global Photovoltaic Power Potential by Country*. 2020. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/pdf/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country.pdf>

14 Tonelli, D., Rosa, L., Gabrielli, P., Caldeira, K., Parente, A., & Contino, F. (2023). "Global land and water limits to electrolytic hydrogen production using wind and solar resources." *Nature Communications*, (1), 5532. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41107-x>

15 National power demand was also provided by Tonelli et al., which was also the source for both wind and solar potential. (2023).

16 Blanco, H. (2021). "Hydrogen Production in 2050: How much water will 74EJ need?" Retrieved from: <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need/>

17 Using data from Tonelli et al. (2023).

18 USGS. (2021). "Mineral Commodity Summaries." Retrieved From: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries>

19 Global Footprint Network. (2022). Compare Countries. Retrieved From: https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.131142797.343727173.1695998929-1528741181.1695238799#/compareCountries?type=BCtot&cn=all&yr=2022

20 EIA. (2023). "Petroleum and other liquids." Retrieved From: <https://www.eia.gov/international/data/world/petroleum-and-other-liquids/annual-crude-and-lease-condensate-reserves>; EIA. (2023). "Natural gas." Retrieved From: <https://www.eia.gov/international/data/world/natural-gas/dry-natural-gasreserves>