

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 31 member countries. 13 association countries and beyond.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia Austria Belgium Canada Czech Republic Denmark Estonia Finland France Germany Greece Hungary Ireland Italy Japan Korea Lithuania Luxembourg Mexico Netherlands New Zealand Norway Poland Portugal Slovak Republic Spain Sweden

The European Commission also participates in the work of the IEA

Republic of Türkiye United Kingdom

Switzerland

United States

IEA association countries:

Argentina
Brazil
China
Egypt
India
Indonesia
Kenya
Morocco
Senegal
Singapore
South Africa
Thailand
Ukraine

Source: IEA. International Energy Agency Website: www.iea.org



Résumé

Trois domaines stratégiques des politiques publiques sont de plus en plus imbriqués: l'énergie, l'industrie et le commerce. Des tensions et des arbitrages émergent dans chacun de ces domaines, tandis que les pouvoirs publics cherchent à concilier, d'une part, leurs engagements envers un bon fonctionnement des marchés et une transition énergétique propre et rentable, et d'autre part, la nécessité d'établir des chaînes d'approvisionnement résilientes et sécurisées pour les technologies énergétiques propres. Cela suppose des décisions difficiles concernant le choix des secteurs industriels à soutenir, la collaboration commerciale à l'international et la priorisation des efforts d'innovation. Cette édition 2024 de la publication Energy Technology Perspectives (ETP, Perspectives des technologies énergétiques), le « quide des technologies propres dans le monde », est conçue comme une aide à la prise de décision dans ces domaines. Le rapport ETP-2024 est la première analyse de ce genre à explorer l'avenir de la production et du commerce international des technologies énergétiques propres en fournissant des données détaillées par secteur et régions du monde d'un bout à l'autre des chaînes d'approvisionnement. Cette analyse se base sur un ensemble unique de données collectées selon une approche bottom-up et sur une évaluation quantitative des stratégies industrielles des pays.

L'industrie manufacturière et le commerce international sont des piliers de la nouvelle donne économique portée par les énergies propres

Les opportunités économiques non négligeables associées à la production des nouvelles technologies de l'énergie sont au premier rang des priorités des pouvoirs publics et de l'industrie. La taille du marché mondial de six des principales technologies énergétiques propres (solaire photovoltaïque, éolien, véhicules électriques, batteries, électrolyseurs et pompes à chaleur) a presque quadruplé depuis 2015 pour dépasser 700 milliards USD (dollars américains) en 2023, ce qui correspond approximativement à la moitié de la valeur de l'ensemble du gaz naturel produit dans le monde cette année-là. La croissance a été stimulée par les politiques de déploiement de ces technologies, en particulier des véhicules électriques, du solaire photovoltaïque et de l'éolien. Si les politiques actuelles se maintiennent, le marché des principales technologies énergétiques propres devrait pratiquement tripler d'ici à 2035 pour dépasser 2 000 milliards USD. Cette valeur est proche de la moyenne du marché mondial du pétrole brut ces dernières années.

Les échanges commerciaux à l'international sont primordiaux pour le bon fonctionnement de l'économie mondiale, y compris du système énergétique. Le commerce de marchandises dans le monde, qui englobe les approvisionnements essentiels de toutes sortes, allant des denrées alimentaires aux vêtements en passant par les smartphones et les semi-conducteurs, a atteint une valeur de près de 24 000 milliards USD en 2023. Les combustibles fossiles représentaient approximativement 10 % de l'ensemble, tandis que les matériaux en vrac et les produits chimiques, notamment l'acier, l'aluminium et l'ammoniac, comptaient pour 20 % environ. Aujourd'hui, le commerce des technologies énergétiques propres représente une part relativement faible par rapport à ces industries établies, autour de 1 %, mais sa croissance est rapide.

Avoisinant les 200 milliards USD, la valeur du commerce international des technologies énergétiques propres s'élève à près de 30 % de leur valeur marchande mondiale. L'élément le plus important est le commerce de voitures électriques, qui a doublé en valeur depuis 2020, atteignant approximativement un cinquième de l'ensemble du commerce d'automobiles en 2023. Le solaire photovoltaïque se positionne en deuxième place en termes de valeur dans le commerce international de technologies énergétiques propres. En vertu des politiques actuelles, le commerce global des technologies propres est bien parti pour atteindre 575 milliards USD à l'horizon 2035, soit près de 50 % de plus que la valeur du commerce mondial de gaz naturel aujourd'hui.

Les investissements dans l'industrie manufacturière s'envolent en réponse à la croissance rapide de la demande en technologies énergétiques propres

Une vaque massive d'investissements dans la production de ces technologies est en cours, avec un grand nombre de nouvelles usines en cours de construction à travers le monde. Les investissements mondiaux dans la production de technologies énergétiques propres ont augmenté de 50 % en 2023, atteignant 235 milliards USD. Cela équivaut à près de 10 % de la croissance des investissements dans l'ensemble de l'économie mondiale et à 3 % environ de la croissance du PIB mondial. Quatre cinquièmes des investissements dans la production des technologies énergétiques propres en 2023 concernaient le solaire photovoltaïque et la fabrication de batteries ; de leur côté, les usines de véhicules électriques comptaient pour 15 %. Le volume de capacités de production ajoutées dépasse aisément la demande actuelle. Malgré des annulations et des reports de projets dernièrement dans les domaines du solaire photovoltaïque et de la fabrication de batteries, les investissements dans les installations de production de technologies énergétiques propres devraient rester proches de leurs récents niveaux sans précédent, qui s'élèvent à près de 200 milliards USD en 2024.

Le facteur de compétitivité des coûts est un moteur important pour les investissements dans la production des technologies de l'énergie, mais ce n'est pas le seul. La Chine est actuellement le pays le moins cher pour la production de toutes les technologies propres importantes examinées dans ce rapport, sans tenir compte des aides financières publiques connues. Par rapport à la Chine, la fabrication de modules photovoltaïques, de turbines éoliennes et de batteries coûte en moyenne jusqu'à 40 % de plus aux États-Unis, jusqu'à 45 % de plus dans l'Union européenne (UE) et jusqu'à 25 % de plus en Inde. Les niveaux de coût de production expliquent le rôle surdimensionné de la Chine dans la production actuelle des technologies énergétiques propres : le pays représente, selon les cas, entre 40 % et 98 % des capacités de production mondiales des principales technologies énergétiques propres examinées dans ce rapport, ainsi que de leurs composants essentiels. Par rapport aux autres pays, la Chine bénéficie d'économies d'échelle de taille, d'un marché intérieur plus important ainsi que d'installations et d'entreprises très intégrées tout le long de la chaîne d'approvisionnement de ces technologies. Une enquête de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) menée auprès de plus de 50 industriels majeurs dans l'ensemble des chaînes d'approvisionnement des technologies et des matériaux propres met en évidence d'autres facteurs influençant les décisions d'investissement, outre les coûts. Parmi ceux-ci figurent diverses formes de soutien des pouvoirs publics, la facilité d'accès aux marchés, les connaissances théoriques et compétences pratiques couvertes par l'appareil industriel ainsi que les infrastructures.

Le commerce international peut aider les pays à mettre en valeur leurs atouts économiques

L'évolution vers les technologies propres du commerce lié à l'énergie fait partie d'un changement plus large dans le secteur énergétique, ayant des conséquences à long terme sur les volumes d'échanges commerciaux entre pays. Les combustibles fossiles assurent des flux permanents en termes d'échanges commerciaux d'énergie, alors que les échanges de technologies énergétiques propres se concrétisent par un stock d'équipements de production et de conversion d'énergie à longue durée de vie. Par exemple, sur la base des politiques actuelles, les importations nettes de combustibles fossiles et de propres de l'Union européenne atteignent technologies énergétiques approximativement 400 milliards USD en 2035. Néanmoins, sur le total des importations de l'UE, la balance penche du côté des technologies propres, dont la part augmente pour passer de moins de 10 % en 2023 à 35 % en 2035, au détriment des combustibles fossiles. Cela a des effets positifs sur la résilience énergétique : un seul trajet effectué par un grand porte-conteneurs rempli de modules photovoltaïques peut fournir les moyens de produire l'équivalent en

électricité de la quantité générée à partir du gaz naturel contenu à bord de plus de 50 grands méthaniers ou du charbon à bord de 100 grands navires.

Les stratégies industrielles en Europe et aux États-Unis devraient modifier les perspectives en matière de production et de commerce international

Dans l'Union européenne, l'avenir de la production des technologies énergétiques propres sera façonné par la réalisation des objectifs de la législation « zéro émission nette » dans l'industrie (Net Zero Industry Act, NZIA). Si les objectifs du règlement NZIA peuvent être facilement atteints pour certaines technologies, comme les exigences en matière de relocalisation des étapes finales de la fabrication des composants pour l'éolien ou des pompes à chaleur, la tâche à laquelle est confrontée l'industrie automobile est beaucoup plus vaste. Plus de 40 % des véhicules à moteur à combustion interne produits dans l'Union européenne aujourd'hui sont destinés à l'exportation et doivent faire face à la concurrence des fabricants de véhicules électriques en Chine, tout comme les véhicules électriques produits sur le marché intérieur pour l'UE. Pour garantir la compétitivité de l'industrie automobile de l'UE sur le marché en croissance des véhicules électriques, il sera essentiel de réduire les coûts de production des voitures électriques et d'œuvrer à l'intégration verticale des chaînes d'approvisionnement, y compris les batteries. En 2023, les importations en provenance de Chine ont représenté environ 20 % des ventes de véhicules électriques dans l'Union européenne. En cas de maintien des politiques publiques actuelles, cette part double approximativement pour atteindre 40 % à l'horizon 2035, et ce malgré les droits compensateurs sur les importations en provenance de Chine récemment annoncés, qui seront en vigueur pendant 5 ans. Si les objectifs du règlement NZIA sont atteints, une chaîne d'approvisionnement totalement intégrée pour les véhicules électriques et les batteries permettrait de ramener cette part à 20 %.

Aux États-Unis, les lois Inflation Reduction Act et Bipartisan Infrastructure Law portent leurs fruits. Elles ont déjà permis de mobiliser 230 milliards USD d'investissements dans la production de technologies énergétiques propres jusqu'en 2030. En conservant les politiques actuelles, et sous l'effet des incitations prévues au titre de ces textes législatifs, la demande du pays en modules photovoltaïques et en silicium polycristallin pourrait être presque entièrement couverte par la production domestique à l'horizon 2035, tandis qu'une partie de la demande de cellules et de plaques photovoltaïques serait encore couverte par les importations. Les relations commerciales existantes établissent également des bases solides : le Mexique est bien placé pour devenir un pôle de production de véhicules électriques pour le marché nord-américain (comme c'est le cas aujourd'hui pour les véhicules à moteur à combustion interne), les autres fournisseurs clés potentiels étant l'Asie du Sud-Est, la Corée et le Japon.

La Chine demeure la plus grande puissance industrielle mondiale et l'Inde accomplit des progrès marquants, devenant exportateur net

La part de la Chine, en valeur, dans la production mondiale des six principales technologies propres s'élève à 70 % environ aujourd'hui. La plus grande installation de fabrication de panneaux photovoltaïques de Chine est en cours de construction ; elle se trouve dans la province du Shanxi et pourrait à elle seule produire assez de modules pour couvrir pratiquement toute la demande actuelle de l'UE. Même si d'autres pays mettent actuellement en œuvre des stratégies industrielles, la valeur des exportations de technologies propres de la Chine est sur une trajectoire qui pourrait dépasser la barre des 340 milliards USD en 2035, sur la base des politiques publiques en vigueur. Cela correspond approximativement aux prévisions de recettes d'exportation de pétrole cumulées de l'Arabie saoudite et des Émirats arabes unis en 2024. La facture d'importation de combustibles fossiles de la Chine est à ce jour la plus élevée de tous les pays du monde. En cas de maintien des politiques actuelles, la facture nette des importations, représentant les importations de combustibles fossiles et les exportations de technologies propres, diminue de près de 70 % entre maintenant et 2035. Si les marchés des technologies énergétiques propres venaient à croître plus vite que prévu en vertu des politiques actuelles, la Chine verrait alors ses exportations de technologies énergétiques propres compenser entièrement, en valeur, ses importations de combustibles fossiles avant 2035.

L'Inde passe d'importateur net de technologies propres aujourd'hui à exportateur net en 2035, si la transition énergétique s'accélère. Sur la base des politiques actuelles, l'Inde reste importateur net de technologies énergétiques propres en valeur en 2035, mais cela s'accompagne d'une progression modeste de la fabrication et des exportations de modules photovoltaïques, de véhicules électriques et de batteries, stimulée par le dispositif d'incitation à la production domestique (*Production Linked Incentive Scheme*). Néanmoins, si la transition énergétique va au-delà des objectifs fixés par les politiques actuelles en Inde et à travers le monde, les exportations nettes de technologies énergétiques propres du pays pourraient augmenter rapidement pour atteindre 30 milliards USD en 2035, après satisfaction d'une grande part de sa demande domestique en croissance. Cela compense approximativement 20 % du coût global du reste de ses importations de combustibles fossiles s'élevant à près de 170 milliards USD, faisant ainsi passer le déficit commercial lié à l'énergie en Inde à 140 milliards USD environ.

La porte de la nouvelle économie des énergies propres demeure ouverte aux marchés émergents

Les économies émergentes et en développement d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie du Sud-Est représentent moins de 5 % de la valeur créée

par la production de technologies propres actuellement. Une transition juste et équitable nécessite de permettre à davantage de régions de bénéficier des avantages économiques de la croissance des chaînes d'approvisionnement des technologies énergétiques modernes et propres. Une transition énergétique plus rapide et un marché global plus large pour les technologies énergétiques propres seront des éléments fondamentaux à cet effet. D'autres facteurs qui découragent les investissements dans les marchés émergents à l'heure actuelle doivent également être surmontés, notamment les risques politiques et financiers, le manque de main-d'œuvre qualifiée et d'infrastructures de production. Cependant, des possibilités existent : au-delà de l'extraction et du traitement des ressources minérales critiques, les pays d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie du Sud-Est affichent tous des perspectives de développement de leurs avantages concurrentiels et de progression dans les chaînes de valeur des technologies énergétiques propres. Nous avons recueilli des données pays par pays concernant plus de 60 indicateurs destinés à évaluer l'environnement commercial des entreprises, les infrastructures énergétiques et de transport (comme les réseaux d'électricité, les gazoducs et les ports), la disponibilité des ressources et la taille du marché intérieur en vue de définir des opportunités de croissance du secteur industriel des technologies énergétiques propres pour chaque pays.

L'Asie du Sud-Est est déjà un acteur important au sein des chaînes d'approvisionnement des technologies énergétiques propres, et plusieurs pays sont à même de gravir les échelons dans les chaînes de valeur associées. La région pourrait compter parmi les endroits les moins chers pour la fabrication de silicium polycristallin et de plaques photovoltaïques à l'horizon 2035. Plusieurs pays de la région peuvent s'appuyer sur leurs atouts existants en matière de fabrication d'équipements électriques et électroniques, sur des coûts de la main d'œuvre et de l'énergie compétitifs ainsi que sur des politiques publiques qui soutiennent les secteurs industriels exportateurs. Si la région est capable d'exploiter pleinement ces avantages concurrentiels, et que les politiques publiques globales sont compatibles avec l'atteinte de l'objectif de zéro émission nette à l'échelle mondiale à l'horizon 2050, l'Asie du Sud-Est pourrait alors produire plus de 8 millions de véhicules électriques d'ici 2035 (contre 40 000 environ aujourd'hui), dont près de la moitié serait exportée.

Le contexte en Amérique Latine est favorable à l'émergence d'une filière industrielle des technologies énergétiques propres, en particulier pour la fabrication de turbines éoliennes au Brésil, mais des investissements considérables dans les infrastructures et les chaines logistiques sont nécessaires pour exploiter ce potentiel. Actuellement, le Brésil produit plus de 5 % des pales d'éoliennes dans le monde. Si le pays parvient à capitaliser sur ses conditions propices, les exportations de ces composants sont multipliées par six en 2035 par rapport aux niveaux actuels dans un scénario compatible avec l'objectif de zéro émission nette à l'horizon 2050, en partant du principe que les investissements à long terme dans les infrastructures portuaires portent leurs fruits.

Le Brésil (parmi d'autres pays d'Amérique latine) est en outre doté d'abondantes sources d'énergies renouvelables, qui constituent un potentiel pour la production et l'exportation de fer, d'acier et d'ammoniac à très faibles émissions vers les marchés où ces produits de base sont plus chers à produire, par exemple l'Europe ou le Japon.

L'Afrique du Nord pourrait devenir un pôle de production de véhicules électriques. Des investissements sont déjà en cours et, si la région est en mesure de réaliser son potentiel conformément à l'atteinte de l'objectif mondial de zéro émission nette à l'horizon 2050, l'Afrique du Nord exportera en 2035 près de la moitié des 3.7 millions de véhicules électriques qu'elle produira à ce moment-là, principalement vers l'Union européenne. Cela s'appuierait sur le portefeuille de projets existant dans des pays comme le Maroc. Ailleurs en Afrique, des pays ont la capacité d'exploiter le minerai de fer et les sources d'énergies renouvelables, par exemple, afin de progresser dans la chaîne de valeur et de produire du fer avec de l'hydrogène électrolytique. Ces exportations à destination de l'Europe et du Japon pourraient valoir quatre fois plus que le même tonnage de minerai de fer exporté aux prix actuels, si le monde poursuit des objectifs climatiques compatibles avec l'atteinte de zéro émission nette à l'horizon 2050 et si les obstacles aux investissements dans les pays africains sont surmontés.

La concentration des chaînes d'approvisionnement exerce des pressions sur les voies de transport maritime les plus fréquentées

Le trafic maritime via certains des passages stratégiques les plus fréquentés augmente malgré le ralentissement de la croissance de l'activité maritime dans son ensemble. Sur la base des politiques actuelles, le commerce maritime mondial de marchandises augmentera de 1 % par an en poids au cours des dix prochaines années, sensiblement plus lentement qu'au cours des deux dernières décennies, en raison d'une croissance plus lente de la demande de combustibles fossiles et d'acier. Cependant, le trafic transitant par certains passages stratégiques s'intensifie. Près de 50 % de l'ensemble du commerce maritime de technologies énergétiques propres passe aujourd'hui par le détroit de Malacca. En cas de maintien des politiques actuelles, les expéditions de technologies énergétiques propres passant par Malacca devraient augmenter considérablement, même si leur part dans le commerce maritime total reste très faible. Cette dépendance à l'égard des passages maritimes stratégiques présente des risques en matière de résilience de la chaîne d'approvisionnement, notamment parce que la valeur par tonne d'une cargaison moyenne de technologies énergétiques propres est plus de dix fois supérieure à celle d'une cargaison moyenne de combustibles fossiles.

Des stratégies industrielles bien conçues seront essentielles pour que la transition énergétique poursuive son accélération

Les tensions et les arbitrages entre les objectifs des politiques énergétiques et industrielles impliquent qu'il est essentiel d'établir des politiques de commerce extérieur appropriées pour assurer des transitions énergétiques propres. Dans certains cas, les dividendes provenant du commerce des énergies propres seraient plus élevés si les obstacles aux échanges étaient moindres. À l'heure actuelle, les droits de douane sur les systèmes d'énergies renouvelables et leurs composants, par exemple, sont plus de deux fois supérieurs à ceux appliqués aux combustibles fossiles, en moyenne. Les mesures commerciales, englobant à la fois les mesures tarifaires et non tarifaires, augmentent déjà le coût des technologies énergétiques propres. Par exemple, l'application de droits de douane de 100 % sur les modules photovoltaïques aujourd'hui annulerait la baisse de leurs coûts de fabrication observée ces cinq dernières années. L'effet domino sur les coûts de production d'électricité serait plus limité, les modules photovoltaïques eux-mêmes représentant 20-30 % du coût total de l'installation. Cependant, pour les biens de consommation tels que les voitures électriques, l'impact serait probablement plus direct, risquant de ralentir l'adoption.

Des stratégies industrielles bien conçues peuvent aider les entreprises à combler leurs lacunes en matière de compétitivité ou à atteindre plus vite la frontière de l'innovation, mais leur interdépendance avec les politiques de commerce extérieur doit être examinée avec attention. Une politique industrielle déployée avec un objectif précis, mesurable et limité dans le temps peut appuyer la réalisation d'objectifs climatiques et de politique énergétique. Par exemple, la production de batteries est 50 % plus onéreuse environ dans l'Union européenne qu'en Chine à l'heure actuelle. Les technologies de batteries innovantes en cours de développement pourraient contribuer à réduire l'écart de coût jusqu'à 40 %, niveau auquel les avantages d'une production localisée dans l'Union européenne pourraient l'emporter sur la différence de coût restante. Pour cultiver et maintenir la compétitivité et l'innovation, les politiques industrielles doivent faire l'objet d'un suivi rigoureux et pouvoir être adaptées facilement à un nouveau contexte. Les politiques de commerce extérieur doivent être élaborées avec soin si elles souhaitent également soutenir ces objectifs, sachant qu'il est très improbable qu'une généralisation du protectionnisme ou des aides financières soit synonyme de stratégie industrielle gagnante.

Les stratégies industrielles doivent tenir compte des nouveaux paramètres et objectifs du commerce international dans les chaînes d'approvisionnement des technologies énergétiques propres. Pour concilier au mieux les efforts visant à atteindre les objectifs climatiques et les objectifs de politiques énergétique et industrielle, les politiques de commerce extérieur devront être conçues en vue de leur rôle dans la nouvelle économie des énergies propres

et de ce que cela signifie pour la compétitivité industrielle de nos jours. Il n'existe pas de recette unique à suivre pour ces politiques, mais l'analyse présentée dans le rapport *ETP-2024* est destinée à permettre de faire avancer le débat dans ce domaine.

Introduction

La série de rapports phares Energy Technology Perspectives (ETP, Perspectives des technologies énergétiques) de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) livre des éclairages essentiels sur des aspects technologiques majeurs du secteur de l'énergie depuis 2006. Cette série fut repensée en 2020 pour devenir le quide de de l'AIE dans le domaine des technologies énergétiques propres, mettant l'accent sur des thématiques particulièrement pertinentes pour les décideurs étant donné l'importance capitale de ces technologies et de leur innovation pour atteindre les objectifs de sécurité énergétique, de développement économique et de durabilité environnementale. Les efforts déployés pour réaliser ces objectifs recoupent différentes dimensions des politiques industrielles, énergétiques et commerciales ; la recherche de synergies positives entre elles et la gestion des éventuels arbitrages seront la clé de la réussite. Sur la base de données granulaires par secteur et d'une étude innovante, le rapport Energy Technology Perspectives 2024 (ETP-2024) est le premier du genre à analyser l'avenir de la production et du commerce international des technologies énergétiques propres et des matériaux associés. Il vise à fournir aux décideurs une évaluation quantitative des possibilités et des complexités liées à la production et au commerce de ces technologies et matériaux à travers le monde afin d'appuyer la prise de décision sur ces sujets.

L'analyse couvre six technologies énergétiques propres clés, à savoir les véhicules électriques, les batteries, le solaire photovoltaïque, les turbines éoliennes, les pompes à chaleur et les électrolyseurs, qui représentent ensemble près de la moitié des dépenses d'investissement dans les énergies propres à l'échelle mondiale avec un marché global supérieur à 700 milliards USD. L'analyse porte également sur la fabrication et le commerce des principaux composants de ces technologies, ainsi que trois catégories de matériaux que sont l'acier, l'aluminium et l'ammoniac (pour des applications industrielles et liées aux combustibles), et met l'accent sur les procédés de production à très faibles émissions.

Le rapport *ETP-2024* tient compte de la nécessité de mettre en place des chaînes d'approvisionnement sûres et résilientes pour la transition énergétique. Il évalue les opportunités créées par l'économie des énergies propres et modernes ainsi que la façon dont les investissements dans la production de matériaux et de technologies propres modifie la configuration des flux commerciaux mondiaux. Les technologies énergétiques propres s'imposent dans les nouvelles stratégies industrielles élaborées par les gouvernements du monde entier afin de donner une impulsion à la production domestique, de créer des emplois et de renforcer la

résilience, tout en soutenant les efforts de décarbonation. L'action publique a un rôle crucial à jouer dans ces domaines : chaque pays doit élaborer sa propre stratégie industrielle pour les énergies propres, qui reflète ses forces et faiblesses intrinsèques, parmi lesquelles l'accès à des ressources énergétiques et minérales à bas coût, une main-d'œuvre qualifiée ou encore les synergies entre les secteurs industriels existants. Les décideurs doivent concilier les objectifs en matière de résilience et de sécurité d'approvisionnement ainsi que de prix abordable et d'équité pour élaborer des politiques et des stratégies efficaces afin de parvenir à zéro émission nette de gaz à effet de serre (GES) le plus rapidement possible. Le rapport *ETP-2024* explore diverses manières de parvenir à des arbitrages pour répondre à ces objectifs.

Ce rapport développe considérablement l'analyse contenue dans la essentiellement publication ETP-2023. qui portait sur chaînes d'approvisionnement des technologies énergétiques propres et leur importance dans la transition énergétique, concluant que la fabrication des principales technologies était largement concentrée dans quelques grands marchés. Le rapport ETP-2024 examine de manière plus approfondie les facteurs déterminant l'état actuel et les perspectives de la production et du commerce de ces matériaux et technologies propres clés, ce que vient éclairer un ensemble unique et richement détaillé de données.

Le chapitre 1 fait le point sur l'état actuel des chaînes d'approvisionnement de la production et évalue les facteurs motivant les décisions d'investissement dans l'industrie manufacturière, notamment le facteur compétitivité-coûts. Le chapitre 2 analyse les perspectives relatives aux capacités et aux niveaux de production de technologies énergétiques propres ainsi que le commerce interrégional en s'appuyant sur des projections fondées sur différents scenarios de politique publique, tandis que le chapitre 3 étudie en détail les perspectives de quatre grands marchés: les États-Unis, l'Union européenne, la Chine et l'Inde. Le chapitre 4 propose une évaluation détaillée des opportunités qui s'offrent aux marchés émergents et aux économies en développement pour évoluer dans la chaîne de valeur et récolter les fruits des investissements dans les activités de fabrication et la production de matériaux. Le chapitre 5 inventorie les principales voies maritimes et les passages stratégiques associés au commerce des technologies énergétiques propres tout en précisant le rôle des ports et des navires dans la décarbonation des échanges internationaux. Enfin, le chapitre 6 examine les considérations stratégiques à destination des décideurs.

Chapitre 1. L'état de la production et du commerce

- Les capacités de production mondiales de technologies propres se développent rapidement. Rien qu'entre 2021 et 2023, les capacités de fabrication ont augmenté pour passer d'à peine plus de 450 GW à 1.2 TW pour les modules photovoltaïques, de 125 GW à 180 GW pour l'éolien, de 10.5 à 22.2 millions d'unités pour les véhicules électriques, de 1.1 TWh à 2.5 TWh pour les batteries et elles ont triplé pour atteindre 25 GW pour les électrolyseurs. L'expansion annoncée pourrait conduire à des capacités de production de 1.6 TW pour le solaire en 2030, 260 GW pour l'éolien, 9.3 TWh pour les batteries et 165 GW pour les électrolyseurs.
- La Chine est de loin le plus grand producteur de technologies énergétiques propres et de matériaux associés, notamment l'acier, l'aluminium et l'ammoniac. Sur la base des projets annoncés, la concentration géographique de la production devrait persister jusqu'en 2030, la Chine, l'Union européenne et les États-Unis représentant plus de 80 % des capacités de production pour les six chaînes d'approvisionnement des technologies examinées dans ce rapport, à savoir le solaire photovoltaïque, l'éolien, les véhicules électriques, les batteries, les électrolyseurs et les pompes à chaleur.
- Pour les six chaînes d'approvisionnement considérées, les investissements dans les capacités de production ont atteint 235 milliards USD en 2023, contre 160 milliards USD en 2022. Compte tenu des projets annoncés, les investissements dans ces installations devraient rester autour de 200 milliards USD en 2024, avec une moyenne de 180 milliards USD par an à investir jusqu'en 2030, dont approximativement 35 % sont engagés.
- Le commerce des technologies énergétiques propres augmente rapidement. Les exportations mondiales de modules photovoltaïques ont été multipliées par plus de dix depuis 2015 et celles de voitures électriques pratiquement par vingt. Les routes commerciales empruntées par les vraquiers sont plus engorgées que celles des pétroliers et des porte-conteneurs et sont davantage concentrées en Asie. La transition énergétique fait évoluer le paysage des échanges : les économies dépendent moins des combustibles fossiles, qui sont consommés, et davantage des technologies industrielles, qui sont ajoutées à la puissance installée et exploitées pendant des années. Cela modifie la nature des risques liés à la chaîne d'approvisionnement.
- Le coût est le principal déterminant du niveau et de la localisation des investissements dans la production. Les coûts d'exploitation variables, incluant les matériaux, les composants et l'énergie, représentent plus des trois quarts du coût moyen actualisé de la production des technologies considérées lorsque les usines sont utilisées de façon intensive. Pour la production de matériaux, la part de l'énergie est généralement beaucoup plus élevée. Produire ces matériaux avec des procédés à très faibles émissions est actuellement bien plus onéreux qu'avec les procédés conventionnels, mais la différence de coût de production pourrait baisser sensiblement avec le déploiement commercial de ces nouveaux procédés.

• Une enquête de l'AIE menée auprès de plus de 50 entreprises fait ressortir l'importance d'autres facteurs, outre le coût, en particulier la taille du marché intérieur. En Chine, où les capacités de production se sont développées le plus rapidement ces dernières années, le marché des technologies énergétiques propres est passé de 25 milliards USD en 2010 à plus de 400 milliards USD en 2023 à prix constants. Une large base industrielle établie et la proximité géographique avec les fournisseurs et les clients sont également d'importants facteurs d'attraction.

Chapitre 2. Perspectives mondiales

- Le commerce est un catalyseur essentiel des transitions vers les énergies propres. La valeur du commerce des technologies énergétiques propres augmente dans les trois scénarios utilisés dans ce rapport, mais à des rythmes variables. Dans le scénario « Politiques annoncées » (Stated Policies Scenario, STEPS), elle passe de 200 milliards USD en 2023 à 575 milliards USD à l'horizon 2035, ce qui est supérieur à la moitié de la valeur du commerce de gaz naturel aujourd'hui. Elle dépasse 700 milliards USD en 2035 dans le scénario « Nouveaux engagements annoncés » (Announced Pledges Scenario, APS) et augmente encore à plus de 1 000 milliards USD dans le scénario « Zéro émission nette à l'horizon 2050 » (Net Zero Emissions in 2050, NZE). Les dividendes du commerce seraient plus élevés si les droits de douane l'étaient moins : les droits de douane sur les technologies d'énergies renouvelables et leurs composants sont en effet en moyenne deux fois supérieurs à ceux appliqués aux combustibles fossiles aujourd'hui.
- La croissance des échanges de technologies énergétiques propres aura une incidence majeure sur les balances commerciales. Dans le scénario STEPS, les importations nettes de technologies propres des États-Unis augmentent pour atteindre 150 milliards USD en 2035, mais cela est compensé par une hausse des exportations de combustibles fossiles. Dans l'Union européenne, les importations nettes de technologies propres, dont un tiers en provenance de Chine, atteignent 140 milliards USD en 2035, ce qui contrebalance entièrement les effets positifs dus à la baisse de la facture d'importation de combustibles fossiles.
- En Chine, le coût des importations de combustibles fossiles est actuellement plus de cinq fois supérieur aux recettes générées par les exportations de technologies propres. Les importations de combustibles fossiles et les exportations de technologies propres s'équilibrent juste avant 2050 dans le scénario STEPS, mais cet équilibre est atteint à l'horizon 2035 dans le scénario APS grâce à des politiques climatiques plus ambitieuses, qui réduisent la demande de combustibles fossiles et les besoins d'importation. En Inde, le dispositif d'incitation à la production (*Production Linked Incentive Scheme*) et les mesures visant à répondre à l'objectif national de zéro émission nette en 2070 aident le pays à devenir exportateur net de technologies propres avant 2035 dans le scénario APS.
- Une plus grande ambition climatique ne se traduit pas automatiquement par plus d'échanges de technologies propres, car les objectifs climatiques doivent être harmonisés avec ceux de la sécurité énergétique, du commerce et du développement industriel. Dans le scénario NZE, une transition équitable et inclusive entraîne une augmentation de la colocalisation des capacités et de la

- demande dans les marchés émergents et les économies en développement (MEED). Par conséquent, le commerce mondial des technologies propres est près de 5 % inférieur en 2050 par rapport au scénario APS.
- Les besoins d'investissement totaux pour la production de technologies propres ne seront probablement pas un obstacle à la transition. S'élevant à 150 milliards USD, la moyenne mondiale des investissements annuels sur la période 2024-35 dans le scénario APS est en fait inférieure au niveau observé en 2023, mais une tâche importante consistera à orienter les capitaux vers les technologies et les pays qui en ont besoin. Plus de 20 % des investissements nécessaires dans la production de technologies propres concernent les MEED (en dehors de la Chine) dans le scénario APS et cette part passe à 30 % dans le scénario NZE. En revanche, les investissements annuels mondiaux dans la production de matériaux à très faibles émissions doivent croître fortement pour passer de 4 milliards USD aujourd'hui à 88 milliards USD en moyenne au cours de la période 2036-50 dans le scénario APS et à plus de 90 milliards USD dans le scénario NZE.

Chapitre 3. Perspectives pour les grands marchés

- Aux États-Unis, la loi sur la réduction de l'inflation (Inflation Reduction Act) et la loi bipartite sur les infrastructures (Bipartisan Infrastructure Law) mobilisent des niveaux sans précédent d'aide financière publique pour le déploiement et la production de technologies propres et permettent de débloquer des investissements supplémentaires. Dans le scénario STEPS, la demande de modules photovoltaïques et de silicium polycristallin des États-Unis est presque entièrement satisfaite par la production intérieure à l'horizon 2035, mais la demande de cellules et de plaques photovoltaïques dépend encore des importations. Dans le scénario APS, le Mexique s'appuie sur ses atouts existants dans le domaine de la construction automobile pour devenir un pôle de fabrication de véhicules électriques, représentant 35 % des importations des États-Unis en 2035. Les investissements nécessaires dans la production de technologies propres et dans les matériaux à très faibles émissions jusqu'en 2030 s'élèvent à 250 milliards USD (aux prix de 2023) dans le scénario STEPS et à près de 300 milliards USD dans le scénario APS.
- Dans l'Union européenne, le critère de référence établi par le règlement pour une industrie « zéro net » (Net Zero Industry Act or NZIA), selon lequel la production de l'UE doit permettre de couvrir 40 % du déploiement dans l'UE, est le plus aisément atteignable pour les pompes à chaleur, si la demande est suffisante, et pour les turbines éoliennes. Le portefeuille de projets annoncés visant à produire des batteries est pour l'instant largement suffisant pour réaliser les objectifs du règlement NZIA, mais il faudra une réduction des coûts de production et une croissance du marché intérieur des véhicules électriques pour rendre la chaîne d'approvisionnement des véhicules électriques compétitive. En conséquence, les véhicules électriques en provenance approximativement divisées par deux en 2035 dans le scénario APS par rapport au scénario STEPS. L'envolée des coûts de l'énergie depuis 2021 a ébranlé la compétitivité des installations de production des matériaux dans l'UE, qui doivent poursuivre leur modernisation pour rester à la pointe de l'évolution des procédés à très faibles émissions. Des investissements à hauteur de 10 milliards USD ont déjà été engagés dans des projets de ce genre, représentant près de 50 % à l'échelle mondiale, et 10 milliards USD supplémentaires ont été annoncés.
- La Chine restera la première grande puissance mondiale dans le domaine de la production de technologies énergétiques propres, mais la réalisation de son plein potentiel dépend d'un ensemble de facteurs. Près de 60 % des véhicules électriques vendus dans le monde en 2035 dans le scénario STEPS sont fabriqués en Chine. Pour les modules photovoltaïques, les capacités existantes et annoncées seraient largement suffisantes pour couvrir la demande mondiale en 2030 dans le scénario APS, mais dans celui-ci, d'autres pays investissent également dans les

- capacités de production, répondant à environ 35 % de la demande mondiale. La Chine reste le plus grand producteur de matériaux en 2035 dans le scénario APS, même si sa part dans la production mondiale recule légèrement.
- Le dispositif d'incitation à la production (*Production Linked Incentive*) de l'Inde favorise l'intégration verticale dans les chaînes d'approvisionnement, une source essentielle d'avantage concurrentiel pour la Chine aujourd'hui. Dans le scénario STEPS, cela aboutit à la multiplication par neuf de la production de modules photovoltaïques en Inde à l'horizon 2030 ; quant à la production de cellules de batteries, elle augmente pour passer d'une industrie naissante en 2023 à plus de 50 GWh en 2030, un niveau proche de celui de l'Union européenne en 2023.

Chapitre 4. Opportunités dans les marchés émergents

- La transition énergétique offre aux marchés émergents une opportunité de mettre en place ou de développer leur production de technologies énergétiques propres et de matériaux à très faibles émissions. Ces pays représentent moins de 5 % de la valeur mondiale créée dans ces secteurs actuellement.
- La mesure dans laquelle les marchés émergents seront capables de tirer parti de cette opportunité dépend d'un ensemble de facteurs, incluant notamment l'environnement économique, les infrastructures énergétiques et de transport, la disponibilité des ressources et l'existence de marchés intérieurs. Une analyse approfondie menée pour ce rapport ETP a mis en évidence le potentiel des pays d'Amérique latine, d'Asie du Sud-Est et d'Afrique en matière de développement des capacités de production pour les principaux matériaux et technologies énergétiques propres.
- L'Asie du Sud-Est présente un potentiel considérable de développement pour ce qui est de la production de solaire photovoltaïque et de véhicules électriques, étant donné sa main-d'œuvre qualifiée, son expérience dans des secteurs connexes et ses ressources énergétiques favorables. Dans le scénario APS, les pays d'Asie du Sud-Est parviennent à plus que doubler leur part dans la production mondiale de silicium polycristallin et de plaques pour les modules photovoltaïques, passant de 2 % en 2023 à plus de 5 % en 2035. La région produit quelque 5.7 millions de véhicules électriques à l'horizon 2035 (contre 40 000 environ en 2023), dont approximativement la moitié est exportée.
- L'Amérique latine dispose de conditions propices au développement de la fabrication de turbines éoliennes et de batteries ainsi que de la production d'ammoniac à très faibles émissions. Le Brésil produit plus de 5 % de l'ensemble des pales d'éoliennes à l'heure actuelle ; il est aussi un important producteur d'acier et exportateur de minerai de fer, disposant d'infrastructures portuaires adaptées. L'amélioration des infrastructures de transport et le renforcement de leurs liens avec les sites de production ainsi que la réduction des risques d'investissement permettraient au Brésil d'exploiter pleinement son haut potentiel et de multiplier par six ses exportations de pales d'éoliennes entre aujourd'hui et 2035.
- Actuellement, l'environnement économique, le manque d'infrastructures et la faible demande intérieure en Afrique créent un contexte où il faut redoubler d'efforts pour attirer des investissements importants dans l'industrie manufacturière, mais dans certains secteurs et pays, il existe des opportunités majeures susceptibles de soutenir le développement économique et la création d'emplois. L'Afrique du Nord, en particulier le Maroc, devient un pôle de fabrication

de véhicules électriques dans le scénario APS, exportant 65 % des 1.8 million de véhicules électriques produits en 2035 vers l'Europe et l'Amérique du Nord. L'Afrique s'appuie en outre sur son minerai de fer et ses sources d'énergies renouvelables pour produire du fer à partir d'hydrogène électrolytique. Dans un scénario « Fort potentiel » (*High Potential Case*, HPC), les exportations à destination de l'Europe, de la Corée et du Japon atteignent près de 6 milliards USD en 2050.

Chapitre 5. Transport maritime international

- Le transport maritime est la clé de voûte du commerce international, prenant en charge plus de 80 % de l'ensemble des échanges en masse. Le commerce maritime mondial a triplé en termes de masse et a été multiplié par dix en valeur au cours des quarante dernières années. Les combustibles fossiles et les autres intrants de l'industrie lourde représentent aujourd'hui près des deux tiers de l'activité de transport maritime, faisant principalement appel aux vraquiers et pétroliers. Les combustibles fossiles à eux seuls comptent pour 40 % de la masse totale du commerce maritime, et le minerai de fer et la bauxite destinés à produire de l'acier et de l'aluminium pour 20 %.
- Actuellement, l'activité maritime est très concentrée dans la région Asie-Pacifique, avec la Chine au centre: le pays accueille les ports de conteneurs les plus fréquentés et est le principal importateur de marchandises transportées par navire-citerne et vraquier. Les importations et les exportations de la Chine représentent plus de 40 % de l'activité maritime mondiale liée aux besoins de l'industrie lourde et en combustibles fossiles.
- Près de 60 % du commerce maritime mondial emprunte un ou plusieurs passages maritimes stratégiques. Un tiers de l'ensemble des échanges de combustibles fossiles passe par le détroit de Malacca et 20 % par le détroit d'Ormuz, tandis que deux tiers du commerce maritime de technologies énergétiques propres passent par au moins un passage stratégique et plus de la moitié rien que par Malacca. Dans le scénario STEPS, les expéditions de technologies propres via Malacca augmentent sensiblement, leur part dans le commerce maritime total avoisinant 60 % à l'horizon 2035.
- La transition énergétique fera évoluer les routes commerciales mondiales et ralentira la croissance de l'activité maritime, et ce, malgré la hausse des échanges de technologies énergétiques propres. Dans le scénario APS, la diminution du recours aux énergies fossiles et l'accroissement du recyclage font reculer l'activité maritime de 10 % par rapport au scénario STEPS à l'horizon 2035 et de 15 % d'ici à 2050. Les émissions du transport maritime international baissent de pratiquement 60 % d'ici 2035 et de plus de 90 % à l'horizon 2050 dans le scénario APS, sous l'effet du passage aux biocarburants ainsi qu'au méthanol et à l'ammoniac à très faibles émissions, même si des incertitudes demeurent quant à leur adoption à venir. Ces carburants représentent plus de 80 % de la consommation d'énergie pour le transport maritime à l'horizon 2050.

Les coûts de transport maritime et autres coûts de transport représentent moins de 10 % du coût total de l'approvisionnement des ports en carburants à faibles émissions pour le ravitaillement, mais ceux-ci sont néanmoins plus onéreux à transporter que les carburants à base de pétrole. Les coûts de production sont plus faibles dans les régions qui ne sont pas forcément des pôles de soutage aujourd'hui. Cela crée une possibilité pour les ports de devenir des pionniers en matière d'approvisionnement de carburants à faibles émissions, notamment dans des régions comme le Moyen-Orient et l'Australie, où les ressources renouvelables sont abondantes et où le trafic maritime est considérable. Les ports dans d'autres régions disposant d'importantes ressources renouvelables pourraient aussi exporter de l'ammoniac vers les principaux pôles de transport maritime existants.

Chapitre 6. Considérations stratégiques

- Pour accomplir une transition énergétique ordonnée, qui protège et renforce la prospérité économique pour tous, il faut que tous les gouvernements abordent de manière équilibrée trois dimensions clés des chaînes d'approvisionnement relatives à la production d'énergies propres : sécurité et résilience, accessibilité économique et transitions centrées sur l'humain. Cela requiert des politiques énergétiques, climatiques, industrielles et commerciales plus intégrées. La coopération internationale sur les nouvelles questions qui émergent, par exemple autour des normes, est essentielle.
- Parmi les risques menaçant la sécurité et la résilience des chaînes d'approvisionnement, citons la concentration de l'offre, les goulets d'étranglement physiques d'ordre commercial et les mesures portant atteinte aux échanges. Les risques concernant le coût des matériaux et des énergies propres comprennent le manque de soutien en faveur de l'innovation et de la concurrence ainsi qu'une faible efficacité matérielle des chaînes d'approvisionnement. Les risques mettant en péril l'obtention de résultats équitables dans le cadre des transitions énergétiques englobent la lenteur des investissements dans les économies émergentes et en développement ainsi que la diminution des opportunités économiques dans des lieux qui pourraient perdre leurs capacités de production existantes.
- Les décideurs sont confrontés à des arbitrages inévitables entre certains de ces risques et devront adopter des approches éclairées et fondées sur des données afin de concilier au mieux les objectifs à long terme. Les progrès réalisés dans l'atténuation des risques peuvent être suivis en utilisant une grande variété d'indicateurs au niveau national et international, mais il sera nécessaire d'avoir de meilleures données dans plusieurs domaines.
- Six réponses stratégiques peuvent contribuer à remédier aux risques détectés en matière de résilience de la chaîne d'approvisionnement, d'emploi et de prospérité :
 - Concevoir des panoplies de mesures industrielles ciblées, réactives et solides, favorisant la compétitivité internationale.
 - Renforcer la compétitivité en stimulant les écosystèmes d'innovation.
 - Renforcer la compétitivité en encourageant la colocalisation et l'intégration.
 - Soutenir une vaste diversification de la production, en particulier vers les économies émergentes et en développement, grâce à des partenariats.

- Anticiper l'évolution du transport maritime, notamment les risques associés aux passages stratégiques et les conséquences de la hausse de la demande de carburants à faibles émissions.
- Appuyer la collecte de meilleures données sur le commerce, les capacités et les émissions afin d'aider les entreprises et les pouvoirs publics dans leur prise de décision.

International Energy Agency (IEA)

French translation of *Energy Technology Perspectives Executive* summary 2024

Le présent document a d'abord été publié en anglais. Bien que l'AIE ait fait de son mieux pour que cette traduction en français soit conforme au texte original anglais, il se peut qu'elle présente quelques légères différences.

This work reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of the IEA's individual member countries or of any particular funder or collaborator. The work does not constitute professional advice on any specific issue or situation. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the work's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the work.



Subject to the IEA's <u>Notice for CC-licenced Content</u>, this work is licenced under a <u>Creative Commons Attribution 4.0</u> International Licence.

Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

IEA Publications
International Energy Agency

Website: www.iea.org

Contact information: www.iea.org/contact

Typeset in France by IEA - Original version: October 2024; Translation:

January 2025 Cover design: IEA

Photo credits: © Getty Images

