

RAPPORT Résumé exécutif - Octobre 2024

Forger l'industrie post-carbone

Comparatif Europe-Asie

Partie 1

Concevoir une stratégie industrielle propre pour l'Europe



L'Europe se trouve à un moment critique où elle doit concilier ses objectifs ambitieux de décarbonation avec la nécessité de maintenir et d'améliorer sa compétitivité. La nouvelle Commission européenne s'est notamment fixé pour cap de faire évoluer le Green Deal en un Pacte pour une industrie propre (*Clean Industrial Deal*). Elle devra néanmoins composer avec des défis importants, dont les coûts élevés de l'énergie, le besoin en nouvelles infrastructures énergétiques, la nécessité d'un meilleur soutien financier à la transition, et l'intensification de la concurrence internationale de la part d'États rivaux qui, pour gagner des parts de marché, ont recours à

des outils de politique industrielle eux-mêmes résolument ambitieux.

Pour parvenir à conjuguer décarbonation et compétitivité, l'Europe devra préserver et transformer les dimensions stratégiques de sa base industrielle tout en encourageant la création d'emplois industriels verts. Le passage à un monde post-carbone aura des conséquences considérables sur la répartition géographique de l'industrie dans le monde, mais aussi au sein de l'Union européenne, et **certains acteurs seront mieux placés que d'autres pour la production de biens industriels neutres en carbone**. Il conviendra pour l'Europe de renforcer sa stratégie industrielle tant au niveau interne qu'en se coordonnant avec ses partenaires commerciaux (dans son voisinage proche comme lointain), afin de permettre à son industrie d'opérer une transition efficace et de rester compétitive dans l'économie de l'après-carbone.

Ce rapport analyse la manière dont l'Union européenne et les principales puissances industrielles asiatiques – **la Chine, la Corée du Sud et le Japon** – appréhendent la transition qu'opèrent aujourd'hui leurs industries vers la neutralité carbone. Partant d'une analyse comparative des stratégies de décarbonation

industrielle dont elles se dotent, l'analyse développe ensuite quatre cas, que sont les secteurs de **l'acier, de l'aluminium, du ciment et de la chimie**.

Ce travail souligne la nécessité pour l'Europe de **tirer des enseignements des politiques industrielles actuellement poursuivies par la Chine, le Japon et la Corée du Sud**. Il démontre aussi combien les trajectoires qu'empruntent ces trois États dans la transition complexe vers un paysage industriel post-carbone soulignent l'importance qu'il y a pour l'Europe à adopter des politiques qui soient à la fois cohérentes, coordonnées et dotées de fonds importants.

Chaque organisation politique a bien sûr ses spécificités, et l'Europe, contrairement à une Chine capable d'adopter une approche dirigiste ou à un Japon dont les stratégies industrielles sont de plus en plus organisées, doit composer avec le caractère fragmenté de sa gouvernance et affronter les limites que soulève **l'absence d'un financement européen commun à grande échelle**. Le règlement pour une industrie « zéro net » (*Net-Zero Industry Act, NZIA*), et la Plateforme des technologies stratégiques pour l'Europe (*Strategic Technologies for Europe Platform*) sont des étapes importantes et bienvenues vers une véritable stratégie industrielle européenne, mais les disparités entre les États membres de l'UE constituent toujours une préoccupation de taille. Les enjeux qui entourent le développement de sa stratégie industrielle sont néanmoins tels pour l'Europe qu'ils doivent l'enjoindre à dépasser ses limites constitutionnelles et politiques pour **élaborer un modèle de gouvernance spécifique** qui lui permette de coordonner les efforts et d'opérer des choix clairs et décisifs.

Le rapport recommande à ce titre une **verticalisation coordonnée de la politique industrielle** au service de la décarbonation des industries européennes. Il préconise la **création d'obligations industrielles propres** (*Clean Industrial Bond*) via un mécanisme d'anticipation des futurs revenus du carbone issus de la nouvelle réforme du système d'échange de quotas d'émission (ETS 1). Par ce mécanisme, le rapport propose d'investir **100 milliards d'euros par an** dans la transition écologique des industries **en soutenant à la fois l'offre et**

la demande pour les biens décarbonés. Ce rapport recommande également d'adopter **une approche sectorielle** qui intègre **le soutien financier, l'innovation et des mesures réglementaires simplifiées** pour faciliter le déploiement et le passage à l'échelle des technologies propres nécessaires à la décarbonation des industries et au maintien de leur compétitivité.

L'Europe doit en outre s'attaquer aux importantes incertitudes technologiques que soulèvent les efforts de décarbonation industrielle. Le poids de ces incertitudes appelle **une réglementation plus ouverte aux technologies émergentes**, capable à la fois de mieux soutenir les nouveaux entrants sur le marché, et d'encourager le déploiement le plus rapide possible d'un large éventail de solutions innovantes. Enfin, ce rapport invite la Commission européenne à fusionner les instruments existants et à envisager la création d'une **Agence européenne de la stratégie industrielle propre** (*Clean Industrial Strategy Agency*), qui sera chargée de coordonner la stratégie industrielle européenne sous l'égide conjointe du vice-président exécutif pour la Prospérité et la Stratégie industrielle et de la vice-présidente exécutive chargée de la Transition propre, juste et compétitive.

Méthodologie

Ce rapport s'appuie sur des consultations et des entretiens de recherche menés avec environ 500 décideurs politiques, industriels et plus largement économiques européens, japonais, sud-coréens et chinois. Ces entretiens semi-structurés, conduits entre juin 2023 et juillet 2024, ont permis de recueillir des avis d'experts et des perspectives de terrain. Ils ont été réalisés en ligne ou lors de voyages de recherche en Europe, au Japon, en Corée du Sud et aux Émirats arabes unis (COP28). Ce rapport se fonde également sur un dialogue international organisé en janvier 2024 autour d'une quarantaine de décideurs politiques et industriels européens, japonais et sud-coréens, réunis pour discuter ensemble des politiques de décarbonation industrielle à travers une approche sectorielle.

1 Qu'est-ce qu'une politique industrielle propre ?

Une politique industrielle propre vise à promouvoir la transition vers la décarbonation d'un ensemble de secteurs industriels tout en maintenant compétitivité et activité industrielle sur le territoire qui poursuit cette politique. Le premier chapitre de ce rapport présente une analyse comparative des politiques industrielles adoptées par l'Union européenne, la Chine, le Japon et la Corée, en mettant en évidence les nuances constatées entre les différentes stratégies de décarbonation industrielle étudiées. Bien que la décarbonation industrielle ne se soit pas encore hissée au rang de priorité politique dans tous les pays, chaque stratégie reflète pour chaque cas une structure économique spécifique, un contexte politique et un rapport différencié aux ressources énergétiques. Cela explique pourquoi, dès leur genèse, les stratégies nationales de décarbonation industrielle peuvent varier grandement d'un pays à l'autre.

1.1. UNE POLITIQUE EUROPÉENNE EMBRYONNAIRE

Pour l'Europe, mettre en œuvre une politique industrielle propre implique donc de conjuguer décarbonation et compétitivité. Au-delà des impératifs de décarbonation, **la concurrence que leur livrent de grands compétiteurs, au premier rang desquels les États-Unis et la Chine, exerce une pression immense sur les industries européennes.** Les incertitudes technologiques propres à la décarbonation évoquées plus haut portent en elles le risque de faire de mauvais choix : si les industries européennes misent, pour leur décarbonation, sur le mauvais cheval – c'est-à-dire sur des technologies qui s'avèreront, demain, les moins compétitives – elles courront le risque de se laisser distancer et ainsi de perdre la bataille de la concurrence.

En parallèle, les secteurs intensifs en énergie nécessitent désormais des investissements substantiels en raison d'infrastructures industrielles vieillissantes sur le continent. Dans un contexte de prix de l'énergie qui ne jouent pas en faveur de la compétitivité européenne, **des industries clés présenteront bientôt le risque d'être entièrement délocalisées dans des régions du monde où l'approvisionnement en énergie propre est meilleur marché.** Les industries européennes font actuellement face à des coûts de l'énergie jusqu'à deux fois supérieurs à ceux de leurs concurrentes chinoises ou américaines, avec des prix de l'électricité variant de 110 à 150 € par MWh en Europe, contre seulement 65 à 70 € par MWh aux États-Unis et en Chine. Cette disparité provient en grande partie de l'accès limité de l'Europe à des ressources énergétiques domestiques (au gaz naturel notamment) mais aussi, de plus en plus, de la position dominante dont bénéficie la Chine dans la production mondiale d'énergie renouvelable, en partie grâce à des subventions massives qui diminuent les coûts pesant sur sa propre industrie.

Le processus décisionnel fragmenté de l'UE, qui se manifeste par des efforts insuffisamment coordonnés entre les États membres, exacerbe le défi. Le règlement pour une industrie « zéro net » permettra certes un soutien accru de la part des États membres au bénéfice d'industries jugées stratégiques mais il n'en est encore qu'à ses premières étapes. Les technologies industrielles propres **peinent à dépasser le stade du prototype de première génération** ; elles se heurtent d'une part à un déficit critique de financement à l'échelle de l'UE et d'autre part à un manque de flexibilité en matière de stratégie industrielle, qui retarde ou entrave l'émergence de nouvelles technologies, ce au détriment de la compétitivité européenne. L'Europe doit donc trouver un **juste milieu entre innovation et protection**, en veillant à ce que ses industries ne soient pas affectées par des pressions extérieures de la part d'États qui ne seraient pas soumis aux mêmes contraintes réglementaires – ce, tout en créant un environnement économique et politique robuste à même d'encourager la croissance de son industrie décarbonée.

1.2. LE CAS DE LA CHINE

La politique industrielle propre chinoise est d'abord déterminée par sa gigantesque base industrielle, qui fait du pays le plus grand exportateur net de carbone incorporé au monde. L'objectif « double carbone » que s'est fixé le gouvernement chinois (atteindre le pic des émissions d'ici 2030 et la neutralité carbone d'ici 2060) reflète le rôle essentiel qu'entend jouer la Chine dans les efforts mondiaux de décarbonation. La mise en œuvre de ces ambitions est néanmoins complexe en raison de la structure de gouvernance décentralisée du pays en matière de politique industrielle. Alors que le gouvernement central fixe les objectifs généraux, les gouvernements provinciaux et municipaux sont responsables de leur exécution, ce qui entraîne des disparités en termes d'ambition et d'efficacité et crée un paysage économique concurrentiel au sein duquel les gouvernements locaux s'efforcent de continuer à faire primer leurs objectifs de croissance tout en cherchant à s'ajuster aux politiques de décarbonation.

La planification stratégique joue un rôle important dans les affaires industrielles de la Chine, le gouvernement investissant en moyenne au moins 5% du PIB chaque année en soutien à ce secteur. Des initiatives comme « Made in China 2025 » et la stratégie « double carbone » sont conçues au service d'une double ambition : renforcer l'autosuffisance technologique de la Chine tout en promouvant des pratiques industrielles plus propres. Le 14^e Plan quinquennal a mis l'accent sur la restructuration des industries avec comme objectifs affichés la **réduction des surcapacités industrielles et l'amélioration de l'efficacité énergétique**, mais les efforts de décarbonation industrielle de la Chine ont pour le moment des effets timides, très loin de ceux attendus en Europe.

L'attitude agressive de l'industrie chinoise sur les marchés internationaux et sa tendance marquée à la surproduction et au dumping mettent en évidence la tension entre préservation de la croissance industrielle et concrétisation de la soutenabilité environnementale. La façon dont la Chine conciliera ces deux priorités déterminera la trajectoire de son industrie dans les prochaines décennies.

Les technologies propres représentent dans le même temps une opportunité économique majeure pour la Chine et les dirigeants chinois y voient un moteur essentiel de la croissance économique future. La Chine domine aujourd'hui le marché mondial des technologies propres, en premier lieu celui des panneaux solaires, des éoliennes et de la production de véhicules électriques. Cette **position dominante**, qui s'ajoute au **contrôle qu'elle exerce sur des matières premières critiques** comme le lithium et les terres rares, consolide le leadership de la Chine dans la transition vers une énergie propre. Elle suggère également le rôle de premier plan qu'elle sera amenée à jouer pour les technologies de décarbonation industrielle plus largement.

L'approche de la Chine en matière de décarbonation se caractérise par :

- **Une innovation technologique orientée par l'État :** le gouvernement joue un rôle prépondérant dans l'orientation de la politique industrielle en pilotant le développement de technologies propres ciblées, ce à travers la formulation de directives exigeantes.
- **L'importance de l'échelle provinciale :** les gouvernements locaux et provinciaux sont centraux dans l'application de la politique industrielle, d'où des trajectoires de décarbonation inégales constatées entre les provinces.
- **Une capacité industrielle massive :** la taille de la Chine et de ses industries nuisent à la rapidité de la décarbonation car la plupart des industries continuent de se développer dans le but de gagner des parts de marché à l'international.
- **Le rôle central des entreprises d'État dans la création de « clusters verts » :** la stratégie industrielle chinoise confère aux entreprises d'État un rôle de premier plan en rassemblant des entreprises privées autour de méga-projets qui génèrent une demande dynamique pour des technologies propres et des biens décarbonés.
- **Une position dominante dans le secteur des technologies propres :** la place de la Chine dans les chaînes d'approvisionnement mondiales des technologies propres agit comme une puissante incitation économique à accélérer la décarbonation industrielle. Son leadership dans les infrastructures d'énergies

renouvelables créera bientôt un surplus d'énergie qui incitera les industries chinoises à trouver les moyens d'absorber cette offre.

1.3. L'APPROCHE DU JAPON

La politique industrielle du Japon se caractérise par une coordination étroite entre le gouvernement et le secteur privé, qui permet une **co-construction des grandes directives de politiques publiques** et une **adoption souvent volontaire** de ces dernières par les industries. Cette approche collaborative façonne également la trajectoire du Japon vers la décarbonation. Le pays a pour objectif d'adopter des politiques qui visent à rendre les produits à faible teneur en carbone compétitifs par rapport à leurs alternatives à forte teneur en carbone, avec un financement important – 2,9 trillions de yens (18 milliards d'euros) – consacré aux projets de R&D dans le domaine de la décarbonation de l'industrie par le biais d'un Fonds vert pour l'innovation.

La politique japonaise de transformation verte (*Green Transformation*), baptisée GX et conçue en 2023, entend renforcer les efforts de décarbonation du pays en intégrant une tarification du carbone « axée sur la croissance », elle-même adossée à un soutien financier en faveur de l'industrie. **L'élément central de cette stratégie est l'émission d'obligations de transition GX, avec pour ambition de lever 150 trillions de yens (995 milliards d'euros) au cours de la prochaine décennie. En 2024, des obligations initiales ont été émises pour financer la R&D industrielle.** Le Japon prévoit également de mettre en œuvre un système national d'échange de quotas d'émission obligatoire d'ici 2026 à 2028, en s'alignant sur la mise en œuvre du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF, CBAM en anglais) de l'UE.

La stratégie de décarbonation du Japon est étroitement liée à sa politique énergétique, qui privilégie les « 3 E » : **sécurité énergétique, sécurité économique et durabilité environnementale**. L'approche techno-agnostique du gouvernement vise à garantir une certaine flexibilité dans l'atteinte de la neutralité

carbone d'ici 2050, bien que la recherche d'un équilibre entre décarbonation et préservation de la sécurité économique et énergétique puisse de facto ralentir la transition. Les profondes difficultés avec lesquelles le Japon doit composer en matière de spécificités géographiques et d'accès aux ressources expliquent que le pays envisage de déployer la plupart des technologies de décarbonation industrielle à partir des années 2040, soit bien plus tard que l'Europe.

La stratégie japonaise peut être résumée par les points suivants :

- **Le pari de l'hydrogène** : le Japon s'est positionné en tant que leader dans la recherche et le développement de technologies liées à l'hydrogène, avec une stratégie visant à accroître considérablement son utilisation, notamment dans les processus industriels. Si le Japon ne parvient pas à fournir de l'hydrogène propre, la décarbonation de son industrie sera néanmoins retardée et devra faire face à d'importants changements structurels.
- **Sécurité énergétique** : compte tenu de la dépendance du pays aux importations d'énergie, la stratégie de décarbonation industrielle du Japon entend concilier objectifs de décarbonation et sécurité énergétique. Si le pays parvenait à rompre sa dépendance aux combustibles fossiles importés, il pourrait néanmoins considérablement renforcer sa sécurité énergétique.
- **Coopération avec l'industrie** : les décideurs politiques japonais travaillent de manière étroite avec les industries afin de créer un environnement de coopération pour la mise en œuvre des initiatives de décarbonation. L'orientation ou le conseil technologique et la planification sont au cœur de la stratégie japonaise, ce en particulier sous l'égide de l'agence New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

1.4. LA STRATÉGIE INDUSTRIELLE DE LA CORÉE DU SUD

La politique industrielle sud-coréenne est fortement influencée par ses **conglomérats industriels, ou chaebols**, qui entretiennent des liens étroits avec le

gouvernement et jouent un rôle important dans l'élaboration des stratégies industrielles. L'économie du pays est orientée vers l'exportation, en particulier dans des secteurs comme l'acier, où la demande internationale – notamment en provenance d'Europe, des États-Unis et d'Asie du Sud-Est – joue un rôle crucial. Alors que le marché mondial des produits décarbonés se développe, la Corée du Sud fait face à une pression croissante pour décarboner ses industries, le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'UE étant un moteur clé de ce changement de politique. Cependant, la nature de cette demande internationale reste un obstacle majeur à ce qui pourrait pourtant être une approche plus offensive en faveur de la décarbonation de ses industries.

La transition de la Corée du Sud vers la décarbonation industrielle est donc lente. **La plupart des efforts se sont concentrés sur la R&D privée plutôt que sur des politiques d'incitation ou des mécanismes de contrainte.** Bien que la Corée ait mis en place un système d'échange de quotas d'émission (SK ETS), son efficacité reste limitée. Elle s'est engagée à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et a promulgué sa loi sur la neutralité carbone en 2022, visant une réduction de 35 % de ses émissions d'ici 2030. Cependant, sous l'effet de révisions récentes apportées au plan national sur le carbone, **cet objectif a été abaissé à 11,4 %.**

Dans l'ensemble, la trajectoire de décarbonation de la Corée est prudente, en particulier au regard du

caractère énergivore de certaines de ses industries. Même si des initiatives politiques comme le nouveau pacte vert (Green New Deal) et les incitations à la finance verte récemment mises en place apparaissent comme prometteuses, la **dépendance sud-coréenne aux marchés des pays en développement** et les **dynamiques internes de l'industrie** compliquent à court terme la transition du pays vers l'économie de l'après-carbone. Le gouvernement envisage désormais une stratégie industrielle plus solide, qui combinerait un système d'échange de quotas d'émission révisé avec des soutiens financiers et des incitations pour aider les industries énergivores à se décarboner.

Les défis de la décarbonation industrielle en Corée incluent :

- **Une grande dépendance aux combustibles fossiles :** la dépendance de la Corée au charbon pour la production d'électricité et pour les processus industriels reste un obstacle à la décarbonation.
- **Une économie orientée vers l'exportation :** la politique industrielle sud-coréenne est fortement influencée par la demande mondiale, notamment dans le secteur de l'acier, ce qui freine sa transformation.
- **Une économie de l'hydrogène :** la Corée mise sur l'hydrogène en tant qu'élément clé de ses efforts de décarbonation industrielle, mais les infrastructures et la chaîne d'approvisionnement sont encore en cours de développement et dépendront fortement des importations, avec d'importants défis techniques à résoudre.

Tableau récapitulatif des principales stratégies industrielles en Europe, Chine, Japon et Corée

| Cas | Cadre principal de la politique industrielle | Description | Défis |
|--------------|--|---|--|
| Europe | <i>Pacte vert pour l'Europe (European Green Deal), Ajustement à l'objectif 55 (Fit for 55), Net-Zero Industry Act.</i> | Mécanismes réglementaires (ETS, MACF...), soutien aux technologies propres (hydrogène, énergies renouvelables), projets pilotes. | Coûts énergétiques élevés, fragmentation entre les politiques et stratégies industrielles de l'UE et celles des États membres, financement complexe à l'échelle de l'UE. |
| Chine | <i>Objectif double carbone, Made in China 2025.</i> | Planification industrielle dirigée par l'État, déploiement massif des énergies renouvelables et des technologies vertes, passage à une stratégie de R&D, absence d'objectifs de décarbonation industrielle. | Surcapacité dans les secteurs à forte intensité carbone, mise en œuvre inégale entre les provinces, dépendance massive au charbon. |
| Japon | <i>Stratégie de croissance verte (Green Growth Strategy), GX League.</i> | Approche techno-agnostique (accent mis sur l'hydrogène), réductions volontaires des émissions par les industries, nouvelle tarification du carbone, obligations vertes (dette), agence industrielle centralisée pour soutenir la R&D. | Dépendance aux combustibles fossiles, déploiement lent des politiques, enjeux de sécurité énergétique. |
| Corée du Sud | <i>National Hydrogen Strategy, Korean Green New Deal.</i> | Accent mis sur la recherche et sur l'hydrogène, tarification du carbone (SK ETS), absence d'objectifs de décarbonation industrielle. | Intégration lente des politiques, poids de l'action des grands conglomérats, absence d'un cadre cohérent de décarbonation industrielle. |

2 Comment décarboner l'industrie ?

Le deuxième chapitre du rapport aborde le défi crucial de la décarbonation des industries à l'échelle mondiale. Il met en évidence le **caractère inégal de la répartition géographique des industries à forte intensité carbone** et les **défis technologiques et économiques à surmonter**. Le rapport détaille de manière approfondie les technologies et processus aujourd'hui incontournables pour la décarbonation, comme l'électrification, l'hydrogène propre, la substitution des matières premières, et le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CCUS pour *carbon capture, utilization and storage*), et analyse la manière dont ces leviers sont appréhendés en Europe, en Chine, au Japon et en Corée.

Électrification

L'électrification offre une solution efficace pour décarboner de nombreux secteurs industriels, notamment pour les procédés de chaleur à basse et moyenne température. En remplaçant les systèmes fondés sur les combustibles fossiles par des alternatives alimentées par de l'électricité propre, les industries peuvent réduire considérablement leurs émissions.

• **Chine** : bien que les processus industriels dépendent fortement du charbon en Chine, le pays intensifie rapidement le développement des énergies renouvelables, avec pour ambition d'électrifier certains secteurs industriels et d'orienter certaines industries (comme l'aluminium) vers des régions disposant de volumes importants d'électricité propre. Cependant, les progrès de la Chine en matière d'électrification industrielle demeurent relativement lents, et les incitations pour des secteurs comme l'acier restent relativement faibles.

- **Japon** : la stratégie du Japon inclut l'utilisation de fours à arc électrique dans la production d'acier et des pompes à chaleur industrielles pour des applications à plus basse température. Malgré les ambitions, les progrès sont freinés par les coûts élevés de l'électricité, le manque d'électricité décarbonée dans le pays et la nécessité de répondre à une demande industrielle croissante. Le gouvernement prend des mesures qui visent à promouvoir et à tester des applications allant du stockage d'énergie à la relance de l'énergie nucléaire. La création de clusters joue également un rôle dans l'électrification industrielle du pays.
- **Corée du Sud** : la Corée a consenti des investissements précoces dans l'électrification, mais reste axée sur le charbon pour de nombreuses applications. L'absence de projets d'électrification généralisés a jusqu'à présent ralenti ses efforts de décarbonation.
- **Union européenne** : l'Europe progresse encore lentement dans la promotion de l'électrification industrielle. Elle manque de plus d'une stratégie électrique pour les secteurs industriels, qui associerait l'offre d'électricité propre et les infrastructures à la demande croissante du secteur industriel.

Hydrogène propre

L'hydrogène devrait jouer un rôle de premier plan dans la décarbonation des industries lourdes. L'hydrogène vert, produit par électrolyse à partir d'énergie renouvelable, est au cœur de la plupart des plans de décarbonation industrielle en Europe, mais les coûts élevés de son développement et la question des infrastructures restent des freins à son essor. L'autorisation du recours à une variété plus large d'hydrogène décarboné (nucléaire ou hydrogène bleu) est centrale dans la plupart des stratégies industrielles en Asie.

- **Chine** : la Chine dispose de grandes capacités de production d'hydrogène, essentiellement gris (à forte intensité carbone). Cependant, elle investit dans le développement de projets d'hydrogène vert conformément à ses objectifs de décarbonation et entend de plus en plus utiliser l'hydrogène propre pour ses processus industriels, au moins à l'étape expérimentale. La promotion de l'hydrogène vert pour des applications industrielles, comme l'acier, reste principalement dans le domaine de l'orientation stratégique, et la stratégie industrielle chinoise vise à développer la demande industrielle tout en augmentant l'offre d'hydrogène en parallèle.
- **Japon** : la stratégie hydrogène du Japon vise à augmenter l'utilisation de l'hydrogène dans les processus industriels du pays et à soutenir les importations d'hydrogène pour compenser le déficit de production nationale. Le passage massif à l'hydrogène propre dans l'industrie ne devrait néanmoins pas se produire avant les années 2040 et dépendra du développement des infrastructures d'importation d'hydrogène et d'ammoniac (transport maritime).
- **Corée du Sud** : la Corée a lancé une feuille de route pour devenir un leader de l'hydrogène, avec des investissements importants dans la production d'hydrogène et les infrastructures, y compris dans le cadre de projets d'importation d'hydrogène en provenance d'Australie et du Moyen-Orient.
- **Union européenne** : l'UE progresse avec une stratégie de développement de l'hydrogène très ambitieuse, grâce notamment à son Alliance européenne pour un hydrogène propre et à la Banque européenne de l'hydrogène, qui se concentrent sur les projets d'hydrogène vert et les investissements dans les infrastructures. Cependant, l'UE fait face un risque, celui de ne pas parvenir à faire correspondre suffisamment vite l'offre d'hydrogène à la demande, notamment dans les secteurs de l'acier et de la chimie.

Captage de carbone

La technologie CCUS est essentielle pour les industries où l'électrification directe ou l'utilisation de l'hydrogène ne sont pas viables à court terme. Elle permet de capter et de stocker les émissions de CO₂, aidant ainsi les industries à poursuivre leurs activités tout en effectuant leur transition vers des processus industriels plus propres. La plupart des pays industriels développent aujourd'hui leur propre politique de gestion du carbone.

- **Chine** : la Chine fait progresser la technologie CCUS grâce à des projets pilotes, en se concentrant principalement sur ses industries lourdes comme la pétrochimie, l'acier et le ciment, bien que le déploiement à grande échelle reste limité. Le rôle des grandes entreprises d'État comme SINOPEC est central dans le regroupement des projets de R&D et de démonstration à l'échelle pilote.
- **Japon** : le Japon a inclus la technologie CCUS dans sa « Stratégie d'innovation verte » et entend déployer des technologies de captage de carbone au sein de ses industries à forte intensité énergétique, en particulier dans les secteurs de la chimie et du ciment. La stratégie comprend également la création d'un marché mondial pour expédier le CO₂ vers des régions disposant de capacités de stockage plus importantes.
- **Corée du Sud** : le CCUS gagne progressivement du terrain en Corée, en particulier dans les secteurs de l'acier et du ciment. Le gouvernement reconnaît le potentiel de cette technologie pour l'atteinte de ses objectifs de neutralité carbone. À l'instar du Japon, sa stratégie implique l'expédition de CO₂ vers des sites disposant d'une capacité de stockage suffisante.
- **Union européenne** : depuis le NZIA, l'UE essaie de promouvoir la mise en œuvre du CCUS, avec encore beaucoup à faire pour véritablement faire évoluer cette technologie et créer un marché européen du CO₂. Plusieurs projets pilotes

émergent à travers le continent, et cette technologie est désormais un pilier central de la stratégie de décarbonation de l'UE pour certains secteurs industriels.

Substitution des matières premières

Remplacer les matières premières fossiles ou à forte intensité carbone par des alternatives neutres en carbone ou recyclées est fondamental pour la plupart des industries. Ce levier vise à réduire les émissions liées à la production et au traitement des matières premières.

- **Chine** : Le gouvernement central établit des lignes directrices pour promouvoir les principes de l'économie circulaire, encourageant l'utilisation de matériaux recyclés dans des secteurs comme l'acier et le ciment. Le développement des fours à arc électrique dans le secteur de l'acier et dans le secteur de l'aluminium constitue le principal objectif de cette stratégie, avec un succès modéré en raison du manque actuel de ferraille dans le pays. Cette stratégie est naissante et ne s'accompagne pas d'incitations contraignantes ou sérieuses dans la plupart des secteurs, mais vise de manière croissante à considérer la ferraille et les déchets à recycler comme des actifs carbone de valeur.
- **Japon** : Le Japon fait avancer la recherche sur la substitution des matières premières, en particulier dans les secteurs du ciment et de l'acier, en mettant l'accent sur l'augmentation des taux de recyclage et l'intégration d'alternatives durables. La mise en œuvre de politiques visant à conserver la ferraille et les déchets à recycler sur le territoire devient un sujet de plus en plus important, étant donné qu'une grande quantité de ferraille métallique est exportée pour être fondue à l'étranger.

- **Corée du Sud** : l'approche de la Corée en est encore à ses débuts, bien qu'il existe des initiatives dans des secteurs comme le ciment pour accroître l'utilisation de matériaux alternatifs. Le pays est un important importateur de ferraille et cherche à obtenir une part de marché encore plus substantielle au niveau mondial.
- **Union européenne** : l'UE a élaboré des réglementations strictes pour favoriser la substitution des matières premières, notamment dans le cadre de son Plan d'action pour l'économie circulaire. Cependant, l'exportation de ferraille augmente en Europe et l'UE ne considère pas encore la ferraille et les déchets à recycler comme des actifs carbone. De plus, le paradigme technologique historique, en particulier en ce qui concerne les normes, joue parfois contre la substitution des matières premières, comme c'est le cas dans le secteur du ciment.

3 Une stratégie industrielle propre dans une perspective comparative

Le troisième chapitre de ce rapport met en lumière la façon dont l'UE, la Chine, le Japon et la Corée du Sud gèrent, au sein de leurs stratégies industrielles respectives, les risques et les incertitudes liés à la décarbonation de leurs industries. Il s'intéresse aussi à la façon dont chacun **promeut l'innovation** et **s'adapte aux changements géopolitiques et économiques inhérents à l'économie post-carbone**. Sur le fondement de cette analyse comparative, le rapport formule certaines recommandations pour contribuer à l'élaboration du futur Pacte européen pour une industrie propre.

3.1. CHOIX TECHNOLOGIQUES : INVESTISSEMENTS STRATÉGIQUES, PRIORITÉS ET NÉCESSITÉ D'UN SYSTÈME TECHNOLOGIQUE OUVERT

L'analyse comparative de ces stratégies nationales de décarbonation industrielle souligne un besoin commun, celui de mobiliser des outils de décarbonation qui permettent le **déploiement simultané d'une multiplicité de vecteurs d'énergie et de technologies**. Cela comprend l'accès à une électricité propre abordable, la commercialisation massive de l'hydrogène propre et la production et l'utilisation de biocarburants, tant pour l'approvisionnement énergétique que pour les matières premières industrielles.

Bien que les approches chinoise, japonaise, sud-coréenne et européenne mettent parfois l'accent sur des vecteurs de décarbonation spécifiques, **maintenir une ouverture technologique est primordial** pour se prémunir contre les risques liés aux incertitudes technologiques, aux disparités d'accès aux alternatives décarbonées selon les régions, et à la diversité des contextes dans lesquels les industries évoluent. Par conséquent, les mesures de soutien ne doivent pas cibler une technologie au détriment et à l'exclusion des autres, même si cela n'élimine pas la pertinence d'une stratégie industrielle qui encouragerait fortement une technologie particulière, comme l'hydrogène propre ou l'électrification, surtout pour les processus industriels où elle se révèle la plus efficace.

Adapter les industries à fortes émissions aux processus de décarbonation nécessitera de **renforcer les partenariats public-privé, qui permettront de rationaliser et d'accélérer les avancées technologiques**. Mettre les bouchées doubles en matière d'innovation technologique, d'élaboration des politiques publiques et d'investissement est aujourd'hui essentiel, ce pour l'ensemble des parties prenantes, des États aux industries. Les gouvernements sont amenés à jouer un rôle central dans cette transition en formulant des orientations claires et en établissant des mécanismes de soutien financier qui accompagneront les industries dans leurs efforts de décarbonation.

Pour progresser vers la neutralité carbone et garantir l'accès à une énergie sans CO₂, la priorité doit donc être placée sur la mise en place d'investissements significatifs dans l'hydrogène propre et l'électrification. Les technologies CCUS joueront aussi un rôle, notamment durant la période de transition et dans la préservation de certains actifs industriels nécessaires à la souveraineté européenne, ce jusqu'au moment où des alternatives entièrement propres seront disponibles. Malgré les efforts entrepris à travers la planète pour réduire la consommation de combustibles fossiles d'ici 2050, leur disparition complète reste un défi de taille. Les secteurs à forte intensité carbone comme l'acier, le ciment, la chimie et l'aluminium doivent en conséquence renforcer leurs efforts de coopération dans le développement de technologies à faibles émissions de carbone.

3.2. LE RÔLE DES CLUSTERS INDUSTRIELS

La coopération entre les industries est essentielle pour décarboner les secteurs à forte intensité carbone car les émissions sont intégrées dans l'interconnectivité des différents secteurs. **L'adoption d'une stratégie de clusterisation devient centrale dans les projets pilotes en Europe et en Asie**. Par exemple, les produits générés par l'industrie chimique sont profondément intégrés dans d'autres chaînes de valeur comme celles de la production de biens industriels ou de la construction. Tout indique donc que le niveau de déploiement des technologies à faibles émissions de carbone dépendra de la capacité des différents secteurs industriels à coopérer.

Une stratégie industrielle intelligente doit donc aussi permettre d'anticiper la demande future et de favoriser les synergies entre les secteurs. Par exemple, le CO₂ capté lors de la production d'acier pourrait être réutilisé pour des applications chimiques situées à proximité. En Chine, la clusterisation est vivement soutenue par les autorités centrales et provinciales et tire parti de la capacité des entreprises d'État à stimuler une demande dynamique et à accompagner financièrement les acteurs privés.

Le besoin d'anticipation et de coopération intersectorielle émergera sur des fronts multiples qui devront être gérés par cluster. Par exemple, l'électrification entraînera une demande supplémentaire d'électricité, et le changement de processus industriel affectera également les industries, qui devront trouver de nouvelles synergies pour s'adapter à de nouveaux défis, comme ceux de :

- l'incapacité à générer une chaleur excessive, auparavant redistribuée vers d'autres secteurs ;
- l'augmentation des pics de charge que les pompes à chaleur imposent au réseau ;
- l'impérieux besoin de trouver des sources de financement pour la construction d'infrastructures liées à l'électrification.

3.3. LE RISQUE DES PIONNIERS FACE À L'AVANTAGE DES SUIVEURS ?

En Europe, le Green Deal et le paquet ajustement à l'objectif 55, en cela qu'ils signalent la perspective d'un avenir neutre en carbone, offrent aux acteurs européens et aux fournisseurs internationaux un horizon politique clair. Cependant, l'investissement dans de nouvelles technologies de décarbonation nécessite encore des mesures de soutien public financier (et non financier) d'ampleur, **la prise de risques demeurant culturellement délicate pour certains acteurs industriels.**

Le principal risque auquel sont exposées de nombreuses industries européennes réside dans la possibilité que, dans le domaine de la décarbonation industrielle, **l'avantage du premier entrant ne se matérialise pas. Le Japon, la Corée du Sud et surtout la Chine misent à l'inverse sur un éventuel avantage au second entrant** : contrairement à un domaine émergent comme celui des batteries, où ils se lancent pleinement dans la bataille, ces trois États préfèrent surveiller de près ce qui fonctionne en matière de décarbonation des industries traditionnelles dans les régions pionnières, et tout particulièrement en Europe, afin de se tenir prêts à passer à l'échelle une fois que d'autres acteurs auront permis d'identifier avec évidence la technologie la plus compétitive. La stratégie européenne doit donc s'attaquer à ces deux fronts :

soutenir les pionniers, c'est-à-dire ceux qui sont prêts à prendre des risques, et anticiper rapidement la concurrence qui émergera d'autres régions, elles-mêmes non soumises aux mêmes contraintes réglementaires que les industries européennes.

La stratégie européenne de décarbonation industrielle repose à l'heure actuelle sur trois volets principaux :

- **l'utilisation du système d'échange de quotas d'émission (ETS) et du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (CBAM)**, qui génèrent tous deux des revenus ;
- les **subventions décidées au niveau des États membres** ;
- une longue liste de mécanismes européens de soutien à la R&D, aux projets pilotes et au déploiement, comme **le Fonds européen pour l'innovation, les Projets importants d'intérêt européen commun (IPCEIs), la plateforme STEP, des paquets législatifs comme le NZIA, etc.**

Ces outils sont un début, mais ils seront insuffisants pour décarboner nos industries tout en affrontant les conditions de concurrence inégales que font naître les politiques industrielles nationales menées par nos compétiteurs et les divergences constatées entre pays en termes de priorités de décarbonation. Il convient pour l'Europe d'admettre la nécessité de **mesures commerciales pragmatiques** pendant cette période de transition, qui s'intensifiera autour de 2028 avec la suppression progressive des allocations gratuites dans le cadre de l'ETS européen.

L'Europe gagnera donc à **coordonner sa politique industrielle et sa politique commerciale**. Si un secteur à forte intensité carbone exposé aux échanges commerciaux (on parle alors d'*emissions-intensive trade-exposed industries*, ou EITEI) est soumis en Europe à une réglementation stricte en matière de décarbonation, il convient que la politique commerciale de l'UE prenne en compte cette spécificité réglementaire par rapport à nos partenaires commerciaux.

Comment l'UE peut-elle dès lors protéger nos industries ? Les pistes à explorer vont d'un **élargissement du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières**, à la

mise en œuvre de **politiques de marchés publics écologiques favorisant les biens verts fabriqués en Europe, ou à davantage de volontarisme en matière de soutien financier à apporter aux premiers biens décarbonés produits (marchés pilotes)**. Si l'Europe parvenait à aligner son agenda de décarbonation industrielle avec celui des autres acteurs mondiaux, le commerce vert deviendrait alors un horizon plus réaliste. L'exercice est bien sûr risqué, car il est tout à fait probable que les efforts de décarbonation industrielle ne progressent pas au même rythme d'un partenaire commercial à l'autre, d'où la pertinence de mesures de protection. Ce dilemme apparaît clairement dans les débats qui animent aujourd'hui le Japon et la Corée du Sud.

3.4. COMBINER RÉGLEMENTATION ET STRATÉGIES INDUSTRIELLES

a. Une stratégie industrielle propre nécessite une approche axée sur la demande

Les politiques industrielles vertes soutenant la décarbonation des industries les plus polluantes doivent minutieusement tenir compte des risques auxquels consentent ces industries du fait des coûts élevés d'investissement et des incertitudes technologiques.

- L'Europe répond au besoin de réduire ces risques par une combinaison d'instruments financiers et non financiers, y compris réglementaires.
- La Chine met en place un réseau de soutien adossé à de grandes orientations technologiques et permet aux grands acteurs industriels de tester de nouvelles technologies avant une mise en œuvre à grande échelle alors accompagnée de mesures strictes.
- Le Japon se concentre sur la recherche et le développement et sur des projets pilotes mais n'a pas encore enclenché, au-delà de cas sectoriels spécifiques, de mise en œuvre généralisée.

Une question fondamentale mais qui reste en suspens dans les quatre cas étudiés est de **savoir comment générer une demande suffisante en biens verts pour**

justifier l'ampleur des investissements nécessaires à la transition vers la neutralité carbone. Pour stimuler cette demande, l'Europe s'est principalement appuyée sur l'augmentation de ses prix du carbone, une stratégie progressivement adoptée par d'autres pays, dont le Japon, la Corée du Sud et, dans une certaine mesure, la Chine.

Il existe néanmoins un **besoin croissant de mesures additionnelles pour dynamiser la demande, à l'image du développement des marchés publics verts et de la mise en place d'exigences d'achats obligatoires pour les biens décarbonés, dans le cadre d'une stratégie industrielle plus large**. Ces approches sont déjà explorées au Japon et en Corée du Sud, tandis que les procédures de marchés publics et d'achat font depuis longtemps partie intégrante du cadre de politique industrielle traditionnelle de la Chine. L'Europe gagnera à inclure ces aspects dans son manuel stratégique industriel, en premier lieu en attachant au Pacte pour une industrie propre des mesures ciblant la demande.

b. Cette stratégie doit procéder à une sélection pertinente des technologies propres à encourager

Comment les gouvernements, qui ne sont pas des acteurs de marché comme les autres, peuvent-ils déterminer quelles technologies encourager en priorité? Ce dilemme relève d'une des questions les plus vivement débattues parmi les industriels et les décideurs politiques, tant en Europe qu'en Asie : certes, les industries devraient idéalement pouvoir sélectionner par elles-mêmes leurs priorités technologiques, mais les gouvernements ont inévitablement un rôle à jouer en la matière.

Le soutien constant du gouvernement chinois au déploiement massif des énergies renouvelables influence effectivement les décisions que prennent certaines industries. L'intervention gouvernementale est particulièrement marquée dans certaines provinces fortement industrialisées. Malgré cela, **les autorités chinoises maintiennent des listes ouvertes, par secteur, de technologies éligibles au soutien par le biais**

de fonds industriels verts. Ces listes (parfois spécifiques à certaines provinces) sont régulièrement mises à jour en fonction de la demande des industries, à travers notamment les informations que font remonter les associations industrielles publiques, et permettent ainsi d'encourager le développement de technologies ou d'approches multiples.

Au Japon, l'enjeu de la sélection des technologies est abordé avec prudence, le gouvernement s'efforçant de rester aussi neutre que possible en matière de technologies. Le rôle du NEDO est ici central, en coopération étroite avec les industries. La Corée du Sud, bien qu'elle en soit encore à ses débuts, semble suivre une voie similaire.

L'Europe, en revanche, a besoin d'un système qui combine **mesures d'intervention verticales** (celles qui guideront les industries dans la sélection des technologies de la décarbonation) et **réglementations horizontales existantes, fondées sur le marché** (par exemple, la tarification du carbone). Seule cette combinaison de mesures lui permettra de garantir une saine concurrence entre les entreprises et les technologies et d'ainsi identifier les meilleures options pour chaque zone géographique européenne.

Une politique industrielle propre pourra être considérée comme réussie si elle parvient à **ajuster rapidement ses paramètres au gré des avancées technologiques et des changements successifs** qui surgiront inévitablement sur le marché. La Chine, à cet égard, fait preuve d'une grande flexibilité technologique car elle s'efforce de soutenir un large éventail d'options technologiques en se donnant le temps de trancher une fois qu'il sera plus facile d'identifier la technologie qui dominera le marché. En pratique, cela signifie que la politique ne doit pas seulement se concentrer sur les leaders du marché, mais elle doit aussi s'attacher à promouvoir l'émergence de nouveaux acteurs, plus petits, qui développent des technologies plus en phase avec les besoins du marché.

Les partenariats public-privé sont également essentiels dans ce contexte. Les agences gouvernementales, les industries et même la société civile devraient

coopérer pour identifier ensemble les projets à soutenir. C'est cette démarche de coopération qui garantira que les projets sélectionnés s'alignent sur des objectifs sociétaux plus larges et n'excluent pas d'éventuels nouveaux venus.

En résumé, la stratégie européenne doit donc formuler des orientations technologiques, en particulier pour les secteurs les plus difficiles à décarboner, sans limiter le soutien public à un seul type de technologie. Cette approche impliquera de réviser régulièrement les fondements de ces orientations technologiques. **Le critère principal devant guider les choix de l'Europe doit être la recherche d'une réduction des émissions carbone la plus rentable possible**, et ce dans le respect des objectifs de souveraineté établis par le *Net-Zero Industry Act*.

- c. Un soutien financier aux dépenses d'exploitation devient essentiel

Le soutien public au financement des dépenses d'exploitation (OPEX) durant la période de transition résonne désormais comme une évidence pour la plupart des secteurs industriels. Il s'agira d'un facteur crucial pour l'établissement de marchés pilotes. Accompagner par des ressources publiques le financement des dépenses opérationnelles des industries peut être justifié sous certaines conditions. Ce levier doit principalement être **envisagé pour combler des déficits de compétitivité temporaires dont les biens décarbonés pourraient pâtir par rapport à leurs concurrents carbonés**. Si ces déficits deviennent persistants, le maintien de ce financement n'est néanmoins plus justifiable et devient un gaspillage de ressources. Il est donc essentiel d'évaluer la durabilité et l'impact à long terme de ce soutien public pour s'assurer qu'il contribue à la stabilité économique et non qu'il perpétue des inefficacités.

Les **contrats carbone pour différence** (*carbon contracts for difference* ou CCFD) constituent un outil prometteur qui pourrait être élargi pour soutenir la décarbonation de l'industrie dans des secteurs comme l'acier ou le ciment. Les pays européens, le Japon et la Corée du Sud

considèrent aujourd'hui ce levier comme une option à explorer. Cependant, les CCfD se heurtent en Europe à **des contraintes importantes en raison du manque de visibilité sur le coût à long terme du carbone dans le système d'échange de quotas d'émission de l'UE**, ce qui entrave leur mise en œuvre. Pour fonctionner efficacement, les CCfD nécessitent un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières parfaitement opérationnel et un prix du carbone prévisible. Dans la situation actuelle, si une meilleure prévisibilité du prix du carbone n'est pas établie, cet instrument complexe risque de se cantonner à des secteurs spécifiques comme l'hydrogène ou le CCUS. **Les CCfD européens pourraient néanmoins constituer une voie probante lorsqu'appliqués à des biens verts comme l'acier ou l'aluminium vert.**

Les subventions directes pour les OPEX constituent également une solution à envisager. La Chine manie les subventions OPEX comme un moyen de restructurer son appareil industriel et il est probable qu'elle continue d'y avoir recours à des fins de décarbonation. En Europe, les aides d'État dédiées au financement des **dépenses opérationnelles posent des défis majeurs de mise en œuvre, notamment sous l'effet des règles de la politique européenne de concurrence.** Pour surmonter ces obstacles, il est essentiel d'adopter une approche européenne de ces soutiens OPEX et de pérenniser leur utilisation (c'est le cas dans les IPCEI) pour l'entièreté de la durée de la phase de transition industrielle.

L'Europe comme le Japon se posent la question de savoir si les aides d'État doivent couvrir les OPEX prévues ou réelles. Comprendre les conditions permettant le déclenchement des décisions d'investissement est ici essentiel. Une approche sectorielle, qui s'appuierait sur un facteur discriminatoire fondé sur la production, pourrait fournir le cadre nécessaire à cette évaluation préalable, en garantissant ainsi **une distribution juste et efficace des aides d'État et un fléchage des ressources au bénéfice des secteurs les plus pertinents et les plus porteurs de croissance.**

Dans un même ordre d'idée, l'Europe gagnera à **pérenniser les exemptions aux règles du droit européen de**

la concurrence – à l'image de celles consenties dans le cadre des IPCEI – au nom de la décarbonation de l'industrie. Ce sont ces exemptions qui permettront aux industries de recevoir le soutien public nécessaire à l'émergence de marchés décarbonés dans leurs secteurs respectifs. Adapter le droit de la concurrence européen à ces impératifs sera particulièrement décisif pendant la période de transition qui sera synonyme, pour les industries concernées, d'une accumulation d'essais, d'échecs et de phénomènes de concurrence avec lesquels elles devront composer.

3.5. L'IMPORTANCE DES NORMES INDUSTRIELLES PROPRES

Un autre volet incontournable pour la réussite de la période de transition réside dans l'établissement de normes internationales pour les biens industriels décarbonés. Décarboner une industrie ne se fera pas de la même manière dans telle région ou dans tel pays, et certains facteurs géographiques peuvent aussi avoir un impact sur le choix des technologies de décarbonation, avec des variations considérables d'un État à l'autre.

Le premier acteur majeur qui aura défini ses normes industrielles propres pourrait bien être celui qui fixera la norme mondiale, d'où la nécessité pour l'Europe d'agir rapidement. La Chine, bien consciente de la capacité de l'édiction de normes à modeler le paysage technologique d'un marché à travers l'essor de certaines technologies au détriment des autres, cherche aujourd'hui à se positionner en tant qu'acteur décisif dans l'élaboration des normes industrielles mondiales. Si un pays parvient à intégrer des technologies qu'il maîtrise et pour lesquelles il bénéficie d'une position dominante au sein de ces normes mondiales, il obtient de fait un avantage concurrentiel considérable par rapport aux nations concurrentes.

Une période d'expérimentation sera nécessaire pour identifier les approches les plus performantes mais **celle-ci doit faire l'objet d'évaluations soigneuses et régulières afin d'éviter ce qui serait un phénomène de fragmentation normative.**

En matière de normes industrielles bas-carbone, au regard de la sensibilité politique de cet enjeu et de l'hétérogénéité des stratégies d'élaboration des normes poursuivies au niveau des États, il est probable que les parties prenantes ne puissent **s'accorder que sur un grand principe d'interopérabilité**. Mais l'interopérabilité pourrait être davantage qu'un choix par défaut : chaque pays ou bloc de pays pourrait ainsi développer ses propres normes en fonction de ses conditions locales, tout en tenant compte des instruments mondiaux, en les harmonisant lorsque pertinent avec certains partenaires commerciaux décidés à joindre leurs efforts à ceux de l'Europe. L'intensité carbone, les procédés de décarbonation, des méthodes appropriées de calcul des émissions et la tarification du carbone sont autant de critères scientifiques objectifs qui peuvent contribuer à l'essor de cette interopérabilité.

La réponse par la normalisation internationale des produits décarbonés et par la négociation internationale sur ces normes ne suffira néanmoins pas à écarter totalement le poids des considérations géopolitiques et des dynamiques de puissance, face à une Chine qui sait user et abuser de son statut d'acteur dominant dans de nombreux secteurs industriels et de l'ampleur des ressources financières publiques qu'elle est souvent prête à mobiliser.

L'heure est venue pour l'Europe de prendre les devants en élaborant ses propres normes industrielles propres, idéalement en coopération avec certains de ses partenaires incontournables et des pays engagés dans le Pacte pour une industrie propre. Il s'agit d'une première étape essentielle avant ce qui sera l'établissement d'un ensemble de normes véritablement mondial en cela que des normes européennes claires agiront comme des incitations positives auprès des industries et des États membres.

3.6. SE PRÉPARER À DES CONDITIONS DE CONCURRENCE INÉVITABLEMENT INÉGALES

L'Europe accomplit aujourd'hui des progrès décisifs en matière de décarbonation, mais elle n'est pas la seule. **Les gouvernements du monde entier encouragent**

les industries à accélérer leur transition afin de mieux se positionner dans la nouvelle économie post-carbone. Cette tendance est particulièrement visible dans les interactions entre les grands blocs industriels et commerciaux, notamment l'UE, la Chine, les États-Unis, la Corée du Sud et le Japon. Or ces approches nationales varient déjà grandement, que ce soit en termes de priorités ou de délais de mise en œuvre. Comme cette tendance est sans doute amenée à se poursuivre, des **effets négatifs comme des distorsions de marché, des tarifs différenciés** d'un pays à l'autre et, par conséquent, des **déséquilibres en matière de concurrence** sont à attendre.

Sans coordination internationale, de telles divergences sont susceptibles d'entraîner des fuites de carbone (*carbon leakage*), c'est-à-dire d'aboutir à une situation sous-optimale où les industries se déplacent vers des pays dont les réglementations sont moins strictes ou plus lentes, sapant ainsi les efforts de décarbonation à l'échelle mondiale. La crainte de ce phénomène est ce qui explique la mise en place, par l'UE, du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF). Mais ce mécanisme suffira-t-il à protéger les secteurs européens ? On peut en douter, au regard de **l'ampleur des ramifications de certaines chaînes de valeur** et de la **profonde complexité inhérente à la transition de certains secteurs industriels spécifiques**. On peut même s'attendre à ce que la phase de transition soit l'occasion d'une coexistence d'économies « vertes » et « brunes » qui émergeraient en même temps – coexistence qu'il convient dès à présent d'anticiper dans un effort de coordination internationale.

Au-delà du MACF, **l'absence d'une politique commerciale unifiée et cohérente au niveau européen à même de mieux soutenir à la fois décarbonation et compétitivité nuit à la capacité de la politique industrielle à accompagner les secteurs européens dans leur transformation.** La coopération sur la tarification du carbone a par exemple constitué un aspect important des relations entre la Chine et l'UE, mais il est évident qu'une convergence significative ne pourra être atteinte. Il est improbable que les systèmes européen et chinois d'échange de quotas d'émission puissent un jour être liés entre eux, notamment parce

que l'accès à des données chinoises vérifiables et pertinentes d'émissions carbone n'est pas garanti. De manière plus générale, l'ampleur de l'échelle à laquelle se joue la politique industrielle que poursuit la Chine et son caractère relativement opaque font encore plus ressortir, en miroir, les défauts des politiques commerciales européennes, qui manquent encore cruellement d'unité. Complexité supplémentaire, l'Inflation Reduction Act (IRA) américain change aussi la donne en prévoyant un soutien financier qui cible à la fois les dépenses d'investissement de capital (CAPEX) et les OPEX, ce à une échelle jamais vue en Europe.

Coordonner les stratégies industrielles à un niveau international sera donc le seul moyen de garantir des conditions de concurrence équitables et de favoriser un marché mondial des biens verts qui soit à la fois juste et compétitif. La crédibilité de l'Europe sur la scène internationale, auprès de pays qui accepteraient de rejoindre cet effort de coordination, devra passer par le maintien du soutien européen des initiatives comme le Club climat et par la démonstration d'une volonté européenne manifeste de tendre la main et de partager connaissances et bonnes pratiques avec ses partenaires. C'est là que le voisinage de l'Europe a toute son importance, notamment pour des industries comme l'acier et la chimie, qui exigent un accès à d'importantes quantités d'énergie propre et d'hydrogène. Il convient que le Pacte pour une industrie propre devienne non seulement un instrument au service de la décarbonation et de la compétitivité européenne, mais également bénéfique aux partenaires internationaux qui échangent des biens industriels avec l'Europe (exemple : le Mozambique et l'aluminium).

Sans un déploiement rapide de cette coopération internationale, les marchés verts pour les biens industriels pourraient devenir plus localisés, avec le risque de voir les échanges commerciaux se limiter à un nombre restreint de pays partageant de manière transparente les mêmes pratiques. Seraient alors à craindre des coûts plus élevés pour les biens industriels et, par effet d'entraînement, une difficile acceptabilité sociale de la décarbonation industrielle auprès de populations déjà confrontées à des pressions inflationnistes.

4 Recommandations : pour une approche sectorielle et simplifiée

Si, à l'heure actuelle, il n'existe pas dans le monde de politique industrielle de décarbonation sans défaut ou de cadre de gestion idéal, l'Europe peut résolument s'inspirer de certaines bonnes pratiques constatées dans d'autres juridictions. Elle y a même intérêt car les instruments récemment mis en œuvre par l'UE (IPCEI, Plan SET, NZIA, plateforme STEP), s'ils posent les jalons d'une politique industrielle commune, ne suffisent pas.

Contrairement au Japon, qui dispose du Fonds vert pour l'innovation pour coordonner, sous l'égide du NEDO, les investissements, l'orientation technologique et le soutien en matière de politiques publiques à différents niveaux de pouvoir, l'Europe n'a pas d'agence comparable. Et elle ne saurait, à l'image de la Chine, s'appuyer sur une approche extrêmement centralisée en matière d'orientation technologique et d'allocation des ressources.

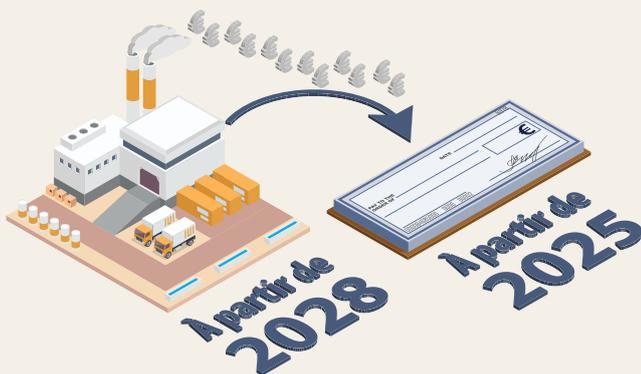
La promesse d'un soutien public au financement des OPEX ne semble pas réaliste au vu de la complexité des procédures européennes, qui gagneraient à être simplifiées. Les obstacles semblent donc encore nombreux pour la politique industrielle européenne.

Au-delà du constat du caractère limité des ressources financières disponibles, le paysage de financement européen est très fragmenté, non sans complexité supplémentaire pour les entreprises en quête de ressources et non sans risque de fragmentation du marché européen. Obtenir les fonds nécessaires implique souvent, au sein des industries, une mobilisation des équipes concernées sur une durée de près d'un an, un fardeau que beaucoup jugent excessif. **La création d'un Fonds de transition écologique simplifié, adapté à chaque secteur** et fondé sur des objectifs définis à la fois au niveau de l'UE et des États membres, apparaît comme une piste à explorer en priorité. C'est l'une des recommandations de ce rapport, dont les propositions de politiques publiques sont énumérées dans les paragraphes suivants.

Le rapport préconise que le Pacte pour une industrie propre, prévu dans les cent premiers jours de la nouvelle Commission européenne, réponde aux objectifs suivants :

Recommandation 1

Établir un financement commun au niveau de l'UE par le biais d'obligations industrielles propres européennes – ou d'une dette d'investissement pour l'industrie propre de 100 milliards d'euros par an – qui seront financées à travers un mécanisme d'anticipation des futures recettes fiscales sur le carbone à partir de 2028 (ces recettes fiscales seront générées par la suppression graduelle des allocations gratuites dans le système d'échange de quotas d'émission).



Recommandation 2

Créer une Agence européenne de la stratégie industrielle propre, placée sous la direction conjointe du vice-président exécutif pour la Prospérité et la Stratégie industrielle et de la vice-présidente exécutive chargée de la Transition propre, juste et compétitive, en appuyant cette nouvelle entité sur l'Agence exécutive européenne pour le climat, les infrastructures et l'environnement (CINEA) et sur la plateforme STEP. Une agence européenne dédiée ne doit pas être une fin en soi : elle doit fonctionner comme un outil stratégique consacré à la structuration et à l'accélération de la transition verte au service de priorités et d'objectifs clairs. L'agence devra s'attacher aux missions suivantes :



- a. Formuler conseils et orientations technologiques en coopération étroite avec les industries et la société civile et procéder à des examens réguliers des fondements de ces orientations, avec comme critères principaux la compétitivité des projets de diminution des émissions de carbone et le respect des objectifs de souveraineté établis par le NZIA.
- b. Analyser les projets existants, identifier les facteurs de succès et en tirer des bonnes pratiques répliquables.

- c. **Garantir la coordination et la cohérence** entre les fonds et mécanismes de soutien européens et ceux gérés au niveau des États membres.
- d. **Fusionner les instruments existants** comme les IPCEI, la plateforme STEP et le plan SET, et les pérenniser.
- e. **Assurer un rôle de guichet unique des financements européens**, à travers une centralisation des fonds et une simplification de l'accès à ces fonds au bénéfice des projets de décarbonation industrielle.
- f. **Mettre en œuvre une distribution des fonds fondée sur l'émergence de clusters industriels et à même d'encourager la concurrence entre les États membres** lorsque cela est bénéfique et la coopération lorsque cela est possible, tout en permettant aux autorités locales et régionales de participer à des projets dès les premières étapes du processus.

Recommandation 3

Adopter une stratégie axée sur la demande à travers des instruments comme une politique de commande publique fondée sur l'achat de biens verts « *Made in Europe* ».



Recommandation 4

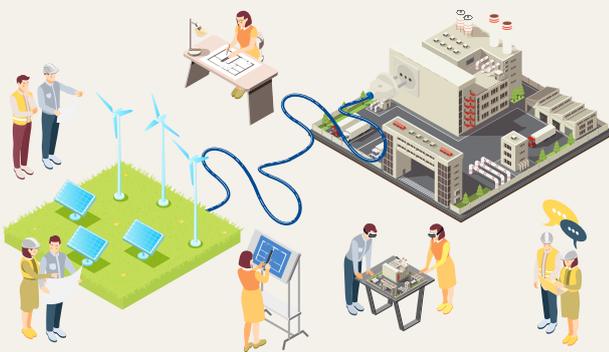
Utiliser la politique commerciale comme un instrument au service de la stratégie industrielle, en la fondant sur deux priorités :



- a. **Considérer les déchets industriels (feraille, etc.) comme des actifs carbone** et les conserver sur le marché européen pendant la période de transition. Cela éviterait de nombreux problèmes de contournement dans le cadre du MACF.
- b. **Encourager les échanges commerciaux avec les régions et les pays adoptant un agenda similaire** de décarbonation industrielle et/ou coopérant dans le cadre du Pacte ou d'autres initiatives minilatérales comme le Club climat.

Recommandation 5

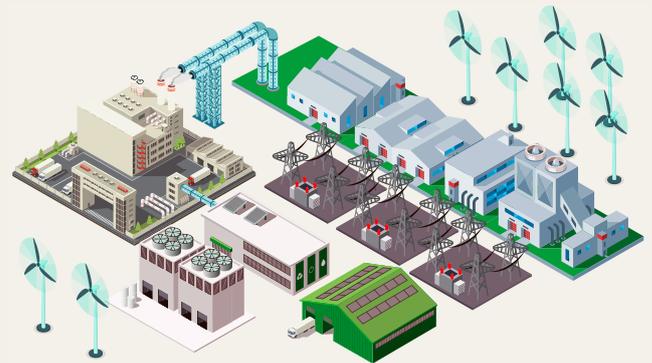
Au-delà d'une intégration plus poussée du marché de l'électricité, **soutenir et anticiper la demande d'électrification de l'industrie**. La Commission européenne devrait établir un cadre de suivi des progrès constatés dans l'électrification dans l'industrie, en veillant à :



- a. Assurer la coordination entre les États membres et la conformité aux objectifs d'électrification.
- b. Surveiller de près les avancées technologiques et industrielles dans ce domaine afin de s'assurer que les infrastructures électriques puissent soutenir la transition.
- c. Anticiper les besoins futurs et les impacts potentiels d'une demande accrue résultant de l'électrification de l'industrie.

Recommandation 6

Adopter une stratégie fondée sur des pôles technologiques intersectoriels :



- a. La coopération intersectorielle et intra-sectorielle est cruciale pour stimuler l'innovation technologique, pour le passage à l'échelle de la production, pour l'introduction sur le marché des technologies et processus neutres en carbone et de l'hydrogène vert, et pour faire progresser les technologies de captage et de stockage du carbone (CCS) et de captage, de stockage et d'utilisation du carbone (CCUS) à des niveaux d'application pratiques.
- b. Promouvoir la mutualisation de la production d'électricité propre dans les territoires où cela est facilement réalisable.

Recommandation 7

Établir des normes industrielles propres en suivant deux principes cardinaux :



a. Briser la dépendance aux technologies existantes – Les normes évoluent souvent à partir des technologies et pratiques antérieures : l'héritage que laissent les normes précédentes influence fortement la conception et l'adoption des nouvelles normes. Une fois qu'une norme est largement acceptée, elle peut créer une inertie, au détriment de l'émergence de technologies plus récentes, même plus efficaces ou plus innovantes. C'est pourquoi la décarbonation industrielle, et cela est valable pour la plupart des produits industriels, mérite un examen continu des normes et implique de ne pas fermer la porte à des technologies émergentes.

b. Adopter et promouvoir une approche par produit et accélérer la mise en œuvre des réglementations sur l'éco-conception :

i. L'Union européenne doit promouvoir une approche axée sur les produits et jouer un rôle d'initiateur de normes pour les biens industriels verts afin **d'assurer un niveau élevé et uniforme de durabilité environnementale sur le marché**. Cette approche faciliterait la création de produits qui ne sont pas

seulement neutres en carbone, mais aussi compétitifs à l'échelle mondiale, renforçant ainsi la position de l'UE en tant que leader en matière de technologies vertes et de durabilité environnementale. **En se concentrant sur les produits finis**, l'UE peut réglementer plus efficacement l'impact environnemental des biens, en s'assurant qu'ils respectent des critères stricts de neutralité carbone, **quelles que soient les méthodes de production utilisées**.

ii. Cette méthode stimulerait l'innovation, car les industriels chercheraient des moyens rentables pour respecter ces normes, au bénéfice de l'économie et de l'environnement. Elle accélérerait dans le même temps la mise en œuvre des exigences en matière d'éco-conception et la promotion de produits durables grâce aux normes établies par le Règlement sur l'écoconception des produits durables (ESPR) et poserait ainsi les jalons d'une économie circulaire performante.

RAPPORT Résumé exécutif - Octobre 2024

Forger l'industrie post-carbone

Comparatif Europe-Asie

Partie 2

Stratégies pour décarboner les secteurs de l'acier et de l'aluminium



Face à une crise climatique qui nous rapproche à allure rapide du dangereux seuil d'un réchauffement global à 2°C, il est urgent d'entamer le chantier longtemps retardé de la décarbonation des industries. La deuxième partie du rapport de recherche de l'Institut Montaigne consacré aux politiques et aux stratégies de décarbonation industrielle en Europe et en Asie est consacrée à la décarbonation de deux secteurs à forte intensité carbone : l'acier et l'aluminium. Avec un rôle de premier plan dans l'activité économique mondiale, ces secteurs contribuent de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre. Pour les pays qui se veulent précurseurs de la décarbonation industrielle,

une ambition que partage l'Europe, le défi majeur consiste à réduire leurs émissions tout en maintenant leur compétitivité industrielle. Le rapport explore les ressorts de la recherche de cet équilibre délicat.

Ce travail offre un examen détaillé des secteurs de l'acier et de l'aluminium, tous deux indispensables à l'économie post-carbone, l'acier pour les infrastructures et l'aluminium pour les solutions de transport léger et les infrastructures d'électrification indispensables à la transition énergétique. Le rapport fournit une analyse comparative des stratégies menées par l'Europe, la Chine, le Japon et la Corée du Sud pour décarboner ces secteurs, en mettant en évidence les choix politiques et technologiques que ces stratégies sous-tendent et en donnant à voir dans quelle mesure l'approche de chaque acteur est façonnée par son environnement économique. Il s'agit également d'évaluer plus spécifiquement les moyens technologiques de la décarbonation, ainsi que les mécanismes de soutien financier et politique qui conditionneront leur déploiement.

Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre la **dynamique concurrentielle qui oppose les produits verts et les produits à forte intensité carbone dans**

les secteurs de l'acier et de l'aluminium et son impact sur les décisions prises par les industries en matière de décarbonation. Pour de nombreux secteurs industriels comme l'acier et l'aluminium, la décarbonation peut avoir un impact significatif sur la localisation géographique des usines, le modèle économique des industries et la structuration des chaînes d'approvisionnement existantes. Grâce à son approche comparative, ce rapport identifie les meilleures pratiques internationales et formule des recommandations adaptées au contexte européen, au service d'un objectif clair : s'assurer que les industries de l'acier et de l'aluminium puissent se décarboner sans que soit compromis leur rôle dans la prospérité économique future.

Méthodologie :

Ce rapport s'appuie sur des consultations et des entretiens de recherche menés avec environ 500 décideurs politiques, industriels et plus largement économiques européens, japonais, sud-coréens et chinois. Ces entretiens semi-structurés, conduits entre juin 2023 et juillet 2024, ont permis de recueillir des avis d'experts et des perspectives de terrain. Ils ont été réalisés en ligne ou lors de voyages de recherche en Europe, au Japon, en Corée du Sud et aux Émirats arabes unis (COP28). Ce rapport se fonde également sur un dialogue international organisé en janvier 2024 autour d'une quarantaine de décideurs politiques et industriels européens, japonais et sud-coréens, réunis pour discuter ensemble des politiques de décarbonation industrielle à travers une approche sectorielle.

1 Stratégies de décarbonation du secteur de l'acier

Environ 8 % des émissions mondiales de carbone sont imputables à la production d'acier, du fait de la nature énergivore de la méthode traditionnelle du haut fourneau-convertisseur à oxygène (BF-BOF), qui utilise le charbon à la fois comme source de chaleur et comme agent réducteur du minerai de fer. Parmi les technologies clés de la décarbonation du secteur sidérurgique, on compte principalement la réduction directe du minerai de fer (DRI) par l'hydrogène (H-DRI), l'électrification par four à arc électrique (EAF, soit majoritairement l'utilisation de l'électricité pour faire fondre des déchets et ainsi produire de l'acier recyclé), ainsi que le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CCUS), un procédé qui permet de capter les émissions des usines existantes.

Les modalités de la décarbonation du secteur de l'acier varient considérablement d'une région industrialisée à l'autre. Ces spécificités locales auront un impact profond sur la répartition géographique et les modèles économiques propres à l'industrie sidérurgique. La Chine, l'Europe, le Japon et la Corée poursuivent chacun des stratégies distinctes pour décarboner un secteur qui, dans de nombreux cas, constitue un pilier essentiel de leur économie.

La Chine domine massivement la production d'acier primaire, avec environ 1,019 milliard de tonnes par an, soit 57 % de la production mondiale. En comparaison, les autres grands producteurs jouent un rôle beaucoup plus modeste : l'Europe produit environ 126 millions de tonnes, le Japon 87 millions et l'Inde 67 millions. Compte tenu du poids important de la Chine dans la production mondiale, la décarbonation de son secteur sidérurgique sera la condition sine qua non de l'atteinte, par l'industrie de l'acier dans son ensemble, de la neutralité carbone d'ici 2050.

DÉFIS FONDAMENTAUX D'UNE SIDÉRURGIE DÉCARBONÉE

Toutes les régions productrices d'acier sont aujourd'hui confrontées aux défis de la décarbonation des procédés de l'industrie sidérurgique. Ces défis sont tels qu'ils exigent des politiques adaptables et ouvertes, sans lesquelles il sera difficile de faire de la production d'acier neutre en carbone une réalité viable du point de vue de sa rentabilité – un enjeu qui anime indistinctement l'Europe comme l'Asie. **Comment démontrer la viabilité commerciale de l'acier neutre en carbone, compte tenu notamment des disparités d'accès à l'hydrogène propre, au minerai de fer de haute qualité (incontournable pour la sidérurgie à hydrogène), à suffisamment d'électricité propre et aux infrastructures requises ?** Les décideurs politiques tentent d'apporter des réponses à cette question tout en tenant compte des incertitudes technologiques qui pourraient modifier la dynamique de l'industrie.

On considère aujourd'hui que la modalité la plus évidente pour fabriquer de l'acier primaire neutre en carbone est de passer des hauts fourneaux traditionnels à la production d'acier à l'hydrogène. Cette évolution requiert toutefois des investissements importants dans la production et les infrastructures de transport d'hydrogène propre, ainsi que dans l'accès à du minerai de fer de haute qualité, qu'on ne trouve aujourd'hui que dans un nombre restreint de zones géographiques et qui demeure peu accessible. C'est l'une des principales difficultés soulignées par les acteurs en Europe, au Japon et en Corée. La Chine, quant à elle, y voit un problème futur pour sa transition sidérurgique, qui ne l'affecte pas dans ses projets immédiats.

Les conséquences d'un avènement de la sidérurgie à l'hydrogène sont multiples. D'une part, **certaines régions sidérurgiques traditionnelles pourraient en arriver à l'implacable conclusion qu'il est économiquement plus opportun d'importer des produits sidérurgiques intermédiaires ou du fer neutre en carbone déjà réduit plutôt que de conserver la totalité de la chaîne de production d'acier primaire sur leur territoire.** D'autre part, d'autres régions se préparent, en mettant à profit leurs avantages compétitifs,

à attirer une part importante de la production d'acier primaire mondiale ou à gagner des parts de marché. La flexibilité du **procédé DRI-EAF**, qui permet de dissocier la fabrication du fer de celle de l'acier, **offre en effet aux régions disposant d'une énergie renouvelable abondante la possibilité d'être à la pointe de la production de fer vert et de remodeler les chaînes d'approvisionnement mondiales de l'acier.**

Les technologies de capture du carbone, notamment la valorisation de la capture du carbone (*carbon capture and utilization*, CCU) et la capture et le stockage du carbone (*carbon capture and storage*, CCS), font également partie des stratégies de décarbonation de l'acier en Europe et en Asie, bien qu'elles restent sous-développées par rapport à d'autres solutions. Pour la CCU, l'accent est mis sur l'intégration du CO₂ capturé dans les processus industriels, tandis que le CCS sera utilisé dans les régions présentant des formations géologiques appropriées. Le développement de ces procédés de capture du carbone représente une option avantageuse pour les industriels qui souhaitent préserver les procédés sidérurgiques traditionnels fondés sur les combustibles fossiles. Cette approche repose néanmoins sur des technologies très coûteuses, qui ne sont économiquement viables qu'à la condition d'un prix du carbone très élevé. Dans la plupart des régions analysées, cette solution est davantage considérée comme un moyen d'éviter les actifs échoués que comme une solution à long terme pour la décarbonation.

Les anciennes régions industrialisées comme l'Europe, le Japon et même la Corée se posent toutes la question de la définition d'une stratégie appropriée et de la manière de composer avec les complexités de cette nouvelle équation économique et technique que constitue la décarbonation du secteur de l'acier. En effet, les régions ayant un accès limité à l'hydrogène propre et au minerai de fer à haute concentration peuvent avoir intérêt à importer des produits intermédiaires, mais quel serait le risque géoéconomique si elles perdaient une partie conséquente de leur production sidérurgique ?

L'incertitude technologique joue également un rôle clé, car les technologies émergentes comme l'électrolyse du fer (*molten oxide electrolysis*, MOE) pourraient

offrir des solutions alternatives à l'hydrogène-DRI pour la fabrication d'acier primaire. Ce niveau d'incertitude technologique tend à ralentir les investissements de déploiement dans de nombreuses régions sidérurgiques traditionnelles. C'est particulièrement le cas au Japon et en Corée : tous deux conscients des perspectives difficiles qui s'annoncent pour l'avenir de leur industrie sidérurgique primaire, ces deux pays choisissent d'adopter une attitude attentiste, sans trancher sur l'ampleur du soutien public qu'ils veulent accorder à telle ou telle stratégie au-delà de la seule R&D.

En fin de compte, les **politiques de décarbonation doivent trouver un équilibre entre compétitivité-coût, besoins d'investissement et soutien des pouvoirs publics, tout en restant ouvertes aux avancées technologiques**. Elles doivent également promouvoir le recyclage de l'acier et le développement des aciéries électriques dans les zones géographiques bénéficiant d'une grande disponibilité d'électricité propre. La décarbonation de l'industrie sidérurgique non seulement nécessite des solutions à trouver dès aujourd'hui, mais mérite aussi de faire l'objet d'un exercice d'anticipation grâce à des politiques de technologies ouvertes qui permettront des percées potentielles et prépareront ainsi l'avenir du secteur.

LA CHINE ET SON ÉCRASANTE DOMINATION DE L'ACIER MONDIAL

L'objectif à long terme de la Chine est de décarboner entièrement son secteur sidérurgique d'ici 2060, voire plus tôt, tout en conservant sa position de premier producteur mondial d'acier. Elle a récemment inclus le secteur de l'acier dans son système d'échange de quotas d'émission fondé sur des critères d'intensité carbone, ce qui suggère que le pays pourrait sans doute mettre en place un plafonnement strict des émissions du secteur d'ici la fin de la décennie. Contrairement à d'autres grandes régions productrices, la Chine entend conserver l'ensemble de sa chaîne de valeur sidérurgique et accroître son poids dans le futur marché de l'acier neutre en carbone, en s'appuyant sur ses capacités de production d'énergies renouvelables et sur des partenariats stratégiques pour l'accès au minerai de fer.

La stratégie que poursuit la Chine pour décarboner son secteur sidérurgique répond à une approche pragmatique et progressive **axée sur les opportunités technologiques**, qui établit un équilibre entre la réduction immédiate des émissions et les percées en matière d'innovation à long terme. Cette stratégie repose en premier lieu sur la **réduction de la capacité de production d'acier**, motivée principalement par la baisse de la demande intérieure plutôt que par un objectif direct de réduction des émissions. Même si le pays met en œuvre des objectifs de réduction de l'intensité carbone de sa production industrielle, la réduction des capacités reste la principale politique de décarbonation en Chine. Cette **réduction progressive permet de gagner du temps pour développer d'autres technologies sidérurgiques sans perturber massivement la trajectoire de développement des principales régions chinoises productrices d'acier**.

La Chine concentre son approche sur l'augmentation de la capacité des fours à arc électrique et, à terme, sur l'utilisation de l'énergie renouvelable excédentaire pour alimenter ces fours. Cette stratégie représente en effet un moyen plus durable et plus efficace pour réduire les émissions à court terme. Le pays peine toutefois à élaborer une stratégie globale en matière de recyclage de la ferraille qui garantirait un approvisionnement fiable en électricité propre pour les fours à arc électrique lors des périodes d'indisponibilité d'énergie renouvelable.

Des entreprises de premier plan - pour la plupart des entreprises publiques comme Baowu - démontrent déjà leur maîtrise de procédés de fabrication de fer via la réduction directe par l'hydrogène (en utilisant une technologie européenne). Leur ambition à terme est de tirer parti de l'essor des infrastructures chinoises d'énergie renouvelable et ainsi garantir à long terme une production chinoise d'acier primaire. Le mélange d'hydrogène dans les hauts fourneaux traditionnels fait également partie des options testées, même si cette solution n'est pas neutre en carbone.

La CCUS fait partie intégrante de la stratégie chinoise de décarbonation de la production d'acier primaire. Les entreprises d'État y jouent un rôle central, en

regroupant les industries autour des secteurs de la chimie et de l'acier. Il faut y voir la tentation qu'a la Chine de continuer à mettre à profit ses ressources nationales de charbon, encore abondantes, pour maintenir la compétitivité de son industrie sidérurgique. Il s'agit également d'une bonne solution pour limiter les actifs échoués. Toutefois, ces options ne seront économiquement viables que si la Chine parvient à mettre en place un mécanisme solide de tarification du carbone et à stimuler la demande d'acier à faible teneur en carbone, tant au niveau national qu'international.

La demande internationale, en particulier dans le cadre de politiques comme le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) de l'UE, pourrait encourager les initiatives de la Chine en matière d'acier à faible teneur en carbone. Toutefois, les investissements récents qu'elle a entrepris en faveur de la création de haut fourneaux à haute capacité, supposément moins intensifs en émissions mais non neutres en carbone, présentent un risque conséquent d'actifs échoués. À cet égard, **l'approche technologique progressive et opportuniste de la Chine lui permet d'adapter des technologies performantes testées par d'autres pays avant de les transposer à l'échelle nationale.**

LE JAPON, À LA RECHERCHE D'UN MODÈLE ALTERNATIF

Les difficultés auxquelles l'industrie sidérurgique japonaise est confrontée ont principalement trait à la lenteur du développement des technologies décarbonées et à la difficulté à obtenir suffisamment d'hydrogène vert à bas coût, compte tenu de la capacité de production limitée du pays. Pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, le Japon doit s'attaquer à plusieurs problèmes d'envergure, qui se concentrent sur la difficulté à mobiliser des ressources publiques et privées d'investissement à grande échelle pour financer la production d'acier décarboné et à compenser les coûts sociétaux, potentiellement importants, de cette transition industrielle.

Parmi les grandes priorités figurent le développement d'infrastructures vertes en soutien à l'utilisation

d'ammoniac et d'hydrogène décarboné, ainsi que la coopération intersectorielle pour faire progresser le captage, la valorisation et le stockage du carbone. La stratégie du Japon en matière d'hydrogène se veut adaptable et s'appuie à la fois sur une production nationale à petite échelle et sur des importations, inévitables au vu des contraintes locales de production. L'avenir de la production d'acier primaire au Japon sera fortement déterminé par des décisions d'ordre politique, qui porteront notamment sur **l'échelle des subventions nécessaires au maintien d'une production nationale** et sur **la volonté de préserver ou non cette activité dans le pays.**

Le remplacement prochain de nombreux hauts fourneaux au Japon d'ici 2040 crée un échéancier critique pour cette prise de décisions à un haut niveau politique : si l'hydrogène propre reste cher ou inaccessible, le pays pourrait s'orienter vers un secteur sidérurgique fondé quasi exclusivement sur les fours à arc électrique au lieu de miser sur la sidérurgie à hydrogène. Ce changement conduirait sans doute à la délocalisation de la production d'acier primaire vers des régions où les conditions économiques sont plus favorables, ce qui pourrait avoir un impact sur la capacité du Japon à trouver un équilibre entre la promotion de la décarbonation et la poursuite de la production nationale d'acier primaire. Le gouvernement japonais continue de surveiller de près l'évolution des technologies pertinentes et entend créer un marché mondial de l'hydrogène pour s'assurer que le secteur sidérurgique japonais reste compétitif malgré cette transition.

CORÉE : ENTRE RÊVES DE GRANDEUR ET RÉALITÉS TECHNOLOGIQUES

Le secteur de la sidérurgie est l'un des principaux piliers de l'économie de la Corée du Sud. Le cadre politique, y compris le système coréen d'échange de quotas d'émission, n'a pas encore fourni de signal de prix du carbone suffisamment fort pour susciter des investissements significatifs dans les technologies vertes au service de la décarbonation de l'industrie du pays. Comme ailleurs, la nécessité de trouver un équilibre entre compétitivité industrielle et décarbonation reste

une question irrésolue en Corée, et une adoption généralisée des technologies de décarbonation y semble peu probable dans un avenir proche.

La décarbonation de l'industrie n'est actuellement pas une priorité politique en Corée, même si le pays s'est engagé à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Même en l'absence d'une stratégie industrielle globale de décarbonation, la Corée soutient la R&D industrielle; POSCO, principal sidérurgiste coréen, a d'ailleurs donné lieu à des avancées technologiques en matière de production d'acier par l'hydrogène en permettant, du moins théoriquement, à sa technologie (HyRex) de ne pas reposer sur l'accès au minerai de fer de haute concentration. Mais le pays ne met pas l'accent sur la transition à court terme de sa sidérurgie. **La Corée reste étroitement liée à la demande internationale d'acier et retardera probablement l'adoption de mesures strictes de décarbonation tant que la demande d'acier décarboné ne se sera pas consolidée.**

Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne, qui touche jusqu'à 10 % des exportations d'acier de la Corée, pourrait contribuer à remodeler profondément la stratégie coréenne. L'horizon des effets du MACF a déjà poussé le gouvernement coréen et les producteurs d'acier à réviser le système sud-coréen d'échange de quotas d'émission pour l'aligner sur le mécanisme européen, signalant ainsi un changement dans les politiques climatiques nationales. Le secteur sidérurgique coréen est vital pour l'économie du pays, puisqu'il produit 70 millions de tonnes d'acier par an, dont 30 millions de tonnes sont exportées. Cependant, 80 % des échanges d'acier de la Corée se font avec les pays de l'ASEAN (Association des nations de l'Asie du Sud-Est) et la Chine, qui pourraient ne pas tolérer des augmentations de prix dues à des coûts de CO₂ plus élevés ou à des modes de fabrication plus coûteux car moins émetteurs. La dépendance de l'acier coréen aux exportations entrave la décarbonation de cette industrie, laissant présager que le changement sera lent.

La Corée est également confrontée à des difficultés d'accès à l'électricité propre et à l'hydrogène nécessaires à la décarbonation de son secteur sidérurgique.

Tout comme au Japon, les coûts élevés des importations d'hydrogène poussent le pays à explorer d'autres stratégies comme l'approvisionnement en fer réduit auprès de régions comme le Moyen-Orient ou l'Australie, en vue d'un traitement ultérieur dans des fours à arc électrique sur le territoire national. Un tel changement modifierait fondamentalement le secteur sidérurgique coréen et sa position sur le marché mondial. La Corée entend toujours se hisser au rang de troisième producteur mondial d'acier d'ici à 2030, ce qui illustre sa volonté de rester compétitive tout en s'engageant dans une transition qui s'annonce complexe pour le pays et qui nécessitera donc une stratégie industrielle revisitée.

L'EUROPE DOIT FAIRE LES BONS CHOIX

La réussite de la décarbonation de l'industrie européenne de l'acier dépendra de la capacité de l'Europe à surmonter les obstacles réglementaires et infrastructurels qui sont les siens, à garantir l'accès à l'hydrogène propre, à gérer sa demande en énergie et à créer une demande en acier décarboné. Il s'agira pour l'UE de parvenir à concilier compétitivité et neutralité carbone en tablant sur la mise en œuvre du MACF et sur des décisions stratégiques qui devront être prises quant à l'avenir de la production d'acier sur le continent. Seuls des **efforts coordonnés de la part des autorités publiques, des dirigeants de l'industrie et des décideurs politiques** permettront de faire émerger une solution de long terme. Les ingrédients de la réussite européenne sont à chercher du côté de l'adoption d'une sidérurgie à base d'hydrogène, une électrification plus large, le déploiement de technologies de capture du carbone (dans une certaine mesure) et des investissements substantiels dans les infrastructures.

La réglementation de l'hydrogène
et l'enjeu des infrastructures

La production d'acier par réduction à l'hydrogène jouera un rôle central dans la décarbonation du secteur en tant que composante essentielle de la stratégie

européenne. Cependant, **la plupart des projets de sidérurgie à hydrogène déjà engagés en Europe, s'ils seront bientôt «prêts pour l'hydrogène», dépendront toujours du gaz naturel en raison de l'accès insuffisant à l'hydrogène propre sur le continent dans un avenir proche.** Ce problème a été exacerbé par les perturbations des marchés de l'énergie après l'invasion de l'Ukraine par la Russie. Pour que la transition soit durable, des investissements importants sont requis dans les sources d'énergie propres afin de fournir l'électricité nécessaire à la production d'hydrogène propre. Sans ces investissements, l'essor d'une sidérurgie à hydrogène neutre en carbone en Europe ne restera qu'un vœu pieux.

Le cadre réglementaire européen actuel autour de l'hydrogène, en particulier l'approche stricte de l'UE dans la définition des carburants renouvelables d'origine non biologique (RFNBO), nuit au déploiement de la sidérurgie à hydrogène. Les principaux obstacles sont l'interdiction des aides d'État à la production d'électricité et le plafonnement des subventions à l'hydrogène non renouvelable (comme l'hydrogène nucléaire). Il est pourtant essentiel d'adopter une **approche fondée sur l'intensité carbone, qui permette une certaine souplesse dans les méthodes de production d'hydrogène** afin d'intensifier les efforts de décarbonation dans le secteur de l'acier.

En outre, l'industrie sidérurgique européenne est confrontée à d'importants défis énergétiques, car **la demande d'électricité pour alimenter les projets d'acier décarboné devrait plus que doubler d'ici 2030.** Ce chiffre inclut les 90 TW/h nécessaires à la production d'hydrogène vert par électrolyse. Le secteur ne produit actuellement que 35 TW/h, ce qui laisse un vide important à combler si l'Europe veut maintenir son niveau actuel de production, sachant que le continent est déjà un importateur net d'acier. Il s'agit donc là d'une question de souveraineté industrielle pour l'Europe, qui doit décider si elle souhaite continuer à produire de l'acier dans l'économie post-carbone.

Le **déploiement des technologies CCUS se heurte également à des obstacles liés aux infrastructures et à l'utilisation de l'énergie.** Enfin, l'accès à la ferraille

doit également être amélioré, car **l'Europe exporte actuellement une quantité substantielle de ferraille qu'elle pourrait conserver et utiliser elle-même au service de sa décarbonation industrielle.** En effet, dans l'économie industrielle post-carbone, **les déchets industriels et la ferraille ont une valeur carbone inhérente** conséquente qu'il est nécessaire de prendre en compte dans toute stratégie industrielle.

Les autorités publiques devront ainsi équilibrer les cadres réglementaires pour soutenir les projets CCUS et hydrogène, mais aussi pour l'électrification, en réduisant les délais administratifs et en comblant les lacunes en matière d'infrastructures. Il sera essentiel de mettre à jour très régulièrement les dispositifs réglementaires et de s'attaquer aux obstacles potentiels au fur et à mesure que l'UE mettra en œuvre la loi sur l'industrie à zéro émission nette (*Net-Zero Industry Act*).

L'impact du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières

Le déploiement du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières devrait remodeler le secteur européen de l'acier en associant aux importations un prix du carbone qui se reflétera dans leur prix final et en les alignant sur les prix du carbone qui ont cours dans l'UE. Si le MACF est en théorie source de promesses pour la décarbonation des secteurs industriels du monde entier, les modalités de sa mise en œuvre soulèvent plusieurs enjeux de taille. Le MACF est conçu pour empêcher les fuites de carbone en imposant un prix aux émissions des importations, afin de garantir que les producteurs européens ne soient pas concurrencés par de l'acier moins cher à haute intensité carbone produit en dehors de l'UE et hors instrument de tarification équivalent à l'EU ETS. L'efficacité du mécanisme pourrait néanmoins être compromise par des phénomènes comme la **réaffectation des ressources**, c'est-à-dire l'émergence de situations où les exportateurs réserveront leurs produits les plus propres au marché européen tout en continuant à produire de l'acier à forte intensité carbone pour le marché domestique ou d'autres régions du monde. **Une méthode de calcul de l'intensité carbone fondée sur la moyenne des**

émissions par secteur dans les pays exportateurs dans le cadre du MACF pourrait atténuer ce risque en encourageant la décarbonation de l'entièreté de chaque secteur concerné dans les pays exportateurs – et pas seulement celle de certaines usines.

Dépendances stratégiques
et avenir de l'industrie sidérurgique
européenne

Il est temps pour l'Europe de choisir comment gérer ses dépendances au sein de la chaîne d'approvisionnement mondiale de l'acier. Les coûts élevés de la production ou de l'importation d'hydrogène vert et la nécessité d'un développement important des infrastructures questionnent la capacité de l'Europe à conserver l'entièreté de son industrie sidérurgique sur le continent. Elle pourrait, en réaction, choisir de passer à un modèle de production d'acier secondaire fondé sur les fours à arc électrique, qui fondent l'acier recyclé et le fer réduit importé. Cette approche, bien qu'elle doive pouvoir s'appuyer sur un soutien réglementaire facilitant la préservation de la ferraille et une énergie propre pour faire fonctionner les fours, apparaît plus facile pour les régions qui n'ont pas accès à une grande quantité d'énergie propre et bon marché et donc pas accès à de l'hydrogène propre.

Si elle ne parvient pas à se procurer des quantités suffisantes d'hydrogène propre en temps voulu, l'industrie européenne de la sidérurgie se verra dans l'obligation de passer d'une dépendance au minerai de fer à une dépendance au fer briqueté à chaud (HBI), après le processus de réduction par hydrogène effectué dans des régions plus propices. Bien que cette dernière option soit plus risquée en raison du nombre réduit de fournisseurs, elle offre une voie potentielle pour décarboner le secteur de l'acier dans un monde post-carbone.

POUR UNE STRATÉGIE INDUSTRIELLE DE DÉCARBONATION DU SECTEUR DE L'ACIER EN EUROPE : RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS

Recommandation A

Définir et appliquer une méthode de calcul de l'intensité carbone moyenne par pays et par secteur dans le cadre du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières. Même s'il s'agit d'une mesure temporaire, elle permettrait de rationaliser les processus de contrôle et d'atténuer les risques de contournement. L'application d'une méthodologie normalisée empêcherait les exportateurs de n'envoyer en Europe que ceux de leurs produits qui sont les plus propres sans décarbonation de l'ensemble du secteur.

Recommandation B

Lever les obstacles réglementaires qui font que la directive sur les carburants renouvelables d'origine non biologique (RFNBO) entrave aujourd'hui le passage à l'échelle, au sein de l'UE, de la production d'acier grâce à l'hydrogène :

- **réévaluer l'interdiction des aides d'État à la production d'électricité pour produire de l'hydrogène propre,** interdiction au nom de laquelle les projets bénéficiant d'une aide d'État pour la production d'électricité ne sont pas considérés comme verts ;
- **adopter une approche des subventions fondée sur l'intensité carbone** afin que puissent être utilisés tous les types d'hydrogène propre lors de la phase de transition, y compris l'hydrogène d'origine nucléaire.

Recommandation C

Donner la priorité à l'hydrogène propre pour les secteurs industriels comme l'acier :

- **repenser et mieux armer le cadre réglementaire entourant l'hydrogène** afin de proposer des solutions aux obstacles (prix élevé de l'hydrogène, difficultés d'accès) qui freinent aujourd'hui son développement en tant que vecteur de décarbonation, et afin de faciliter l'essor des projets pilotes prévus par la stratégie hydrogène de l'UE ;
- **arbitrer en faveur de l'acier – et du secteur de la (péto)chimie – dans les choix des secteurs à approvisionner en hydrogène propre.** Cela permettra de répondre à la demande du marché et de décarboner ce secteur en priorité.

Recommandation D

Miser sur les pratiques de l'économie circulaire : pour s'adapter à l'économie post-carbone, l'industrie sidérurgique doit s'orienter vers des pratiques d'économie circulaire, qui incluent les éléments suivants :

- une transition vers des modèles de production d'acier secondaire axés sur les fours à arc électrique, qui fondent l'acier recyclé et le minerai de fer préréduit (DRI) importé ; cette technologie permettra de diminuer les dépendances à l'hydrogène ;
- à l'ère du MACF, l'adoption d'une **réglementation plus stricte pour garder la ferraille en Europe** et la recycler sur le continent.

2 Stratégies de décarbonation du secteur de l'aluminium

La production d'aluminium est responsable d'environ 2% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, notamment parce qu'elle repose sur des procédés à forte intensité énergétique, à l'image de l'électrolyse, qui pèse pour les deux tiers des émissions du secteur. Le secteur mondial de l'aluminium dépend fortement de l'électricité, et les régions ayant accès à des sources d'énergie propres bénéficient d'un avantage concurrentiel dans la décarbonation de la production.

Alors que l'aluminium est essentiel pour des secteurs comme le transport, la construction et l'emballage, l'empreinte carbone de sa production est **largement déterminée par l'intensité carbone du réseau électrique**. En conséquence, la production d'aluminium primaire a tendance à être localisée dans des régions disposant d'une grande quantité d'électricité bon marché et d'un accès direct ou facile à la bauxite (minerai d'aluminium).

La Chine est le premier producteur d'aluminium, avec un poids s'élevant à 60% de la production mondiale. L'industrie chinoise de l'aluminium est particulièrement émettrice puisque le pays produit une large partie de son électricité à partir de charbon. Elle domine la production mondiale d'aluminium primaire, avec environ 41 millions de tonnes métriques sorties des usines chinoises en 2023. En guise de repère, l'Inde produit environ 4,1 millions de tonnes métriques, suivie de la Russie avec 3,8 millions de tonnes et du Canada avec 3 millions de tonnes. La contribution de l'Europe reste modeste en comparaison, avec 1,22 million de tonnes métriques, celle de la Corée du Sud 1,04 million de tonnes métriques, et la production du Japon, qui se concentre sur l'aluminium secondaire, est négligeable.

PRINCIPALES MÉTHODES DE DÉCARBONATION

- 1. Électrification propre :** le passage à l'électricité propre pour le processus d'électrolyse est capable de considérablement réduire l'empreinte carbone de la production d'aluminium. Les régions ayant accès à des sources d'énergie propres comme l'hydroélectricité sont particulièrement bien placées pour prendre la tête de la production d'aluminium bas-carbone.
- 2. Anodes inertes :** la technologie des anodes inertes constitue une solution d'avant-garde pour décarboner la production d'aluminium en remplaçant les anodes de carbone par des anodes inertes, éliminant ainsi les émissions de CO₂ pendant le processus d'électrolyse. Bien que cette technologie en soit encore à ses premiers stades de développement, elle offre un potentiel important pour décarboner la production d'aluminium primaire. Plusieurs pays misent sur de futures percées technologiques pour décarboner totalement le secteur et obtenir un avantage concurrentiel sur le marché émergent de l'aluminium propre.
- 3. Capture et stockage du carbone (CSC) :** bien que le CSC soit moins adapté à l'aluminium qu'à d'autres secteurs industriels, certains pays, dont la Chine, explorent cette option pour réduire les émissions dans la production d'aluminium primaire.
- 4. Amélioration du recyclage (production d'aluminium secondaire) :** le recyclage de l'aluminium ne requiert qu'une fraction de l'énergie nécessaire à la production primaire, ce qui en fait une stratégie clé pour décarboner le secteur. Les gouvernements et les entreprises doivent s'efforcer d'augmenter les taux de recyclage en améliorant les technologies de collecte et de tri, et en concevant des produits qui peuvent être facilement recyclés à la fin de leur cycle de vie. Compte tenu de l'importance de l'aluminium pour les futures technologies propres, de la facilité de recyclage, de l'augmentation de la tarification du carbone et de l'avènement du MACF, les déchets d'aluminium relèveront de plus en plus d'un actif carbone précieux.

LA CHINE FACE À UN MÉTAL STRATÉGIQUE

La prédominance de la Chine dans la production d'aluminium représente à la fois une opportunité et un défi important pour les efforts mondiaux de décarbonation. La production chinoise d'aluminium dépend fortement de l'électricité produite à partir du charbon, qui constitue 4,5 % des émissions totales de gaz à effet de serre du pays. La décarbonation de ce secteur nécessitera une restructuration importante, principalement pour passer à une électricité propre et développer les efforts de recyclage. Malgré l'intensité carbone du secteur, la Chine s'est engagée à maintenir sa position de leader dans la production mondiale d'aluminium tout en réduisant ses émissions.

Elle a mis en œuvre certaines mesures visant à freiner l'expansion aveugle des fonderies d'aluminium et à encourager l'utilisation de déchets d'aluminium plutôt que de dépendre de la production d'aluminium primaire. En limitant les exportations d'aluminium primaire et en encourageant l'utilisation d'aluminium secondaire, le pays vise également à soutenir ses industries de technologies propres, actuellement en pleine croissance. La délocalisation de la production d'aluminium dans des régions riches en électricité propre, en particulier en hydroélectricité (comme au Yunnan), est au cœur de la stratégie industrielle de Pékin et pourrait réduire considérablement l'empreinte carbone de la production chinoise.

Les éléments clés de
la stratégie chinoise :

- **Transition vers des sources d'énergie renouvelables :** la Chine entend déplacer les activités de fonderie des provinces qui dépendent du charbon vers celles alimentées par des énergies renouvelables comme l'hydroélectricité. Le pays s'est fixé des objectifs chiffrés : s'assurer que plus de 25 % de l'énergie utilisée dans l'électrolyse de l'aluminium provienne de sources renouvelables d'ici 2025, et 30 % d'ici 2030.

- **Incitations réglementaires et financières :** l'arsenal réglementaire chinois se concentre sur l'élimination progressive des activités d'électrolyse inefficaces (les plus polluantes et les moins rentables), sur le contrôle du développement de la production d'aluminium (avec un succès mitigé) et sur l'incitation aux efforts de recyclage. En outre, le soutien financier d'institutions comme la Banque de Chine contribue au financement de projets qui visent à réduire les émissions et la consommation d'énergie. Il convient toutefois de noter que ces projets pourraient avoir un impact limité car ils ne sont pas mus par un objectif d'atteinte de la neutralité carbone.
- **Progrès technologiques :** l'innovation technologique joue un rôle central dans la stratégie de décarbonation du secteur. Le 14^e Plan quinquennal et ses textes d'application encouragent l'adoption de techniques avancées d'électrolyse de l'aluminium et de technologies à faibles émissions. A l'avenir, la Chine prévoit enfin de déployer d'importants efforts pour mettre au point des procédés plus efficaces sur le plan énergétique et de s'appuyer sur les innovations constatées dans la technologie des anodes de carbone – il est ici important de souligner que la Chine suit de près l'état des recherches menées dans ce domaine en Europe et au Canada.
- **Initiatives de recyclage :** la Chine souhaite accroître l'utilisation de l'aluminium recyclé, avec un objectif de production de 11,5 millions de tonnes d'aluminium recyclé d'ici 2025. Les gouvernements provinciaux soutiennent la multiplication des initiatives de recyclage de l'aluminium, et certaines provinces, comme le Henan, fixent des contrôles stricts de la capacité et des objectifs de production pour l'aluminium produit à partir de ferraille recyclée.
- **Système d'échange de quotas d'émission :** le système chinois devrait s'étendre d'ici 2025 à la production d'aluminium. Cette extension est essentielle pour capturer les émissions indirectes provenant de la consommation d'électricité dans les fonderies d'aluminium. Le passage d'un système

fondé sur l'intensité à un modèle de plafonnement et d'échange fondé sur les quotas de droits d'émission favoriserait efficacement la décarbonation du secteur, mais il n'aura probablement pas lieu avant 2030.

- **Impact du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'UE :** le fait que le MACF européen couvre les produits semi-finis et finis offre à la Chine la possibilité d'augmenter ses exportations de produits en aluminium à plus haute valeur ajoutée, qui bénéficient actuellement d'une exemption du MACF.

LE JAPON, CAS D'ÉCOLE POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM EN CAS D'ACCÈS RESTREINT À L'ÉNERGIE

Le secteur japonais de l'aluminium constitue un cas spécifique, principalement parce qu'il repose massivement sur de l'aluminium primaire importé, un modèle qui pourrait s'étendre à de nombreuses régions peu dotées en énergies propres. Au niveau national, le Japon traite l'aluminium importé en le fondant et en le recyclant pour en faire des produits finis. Les efforts de décarbonation du Japon se concentrent sur l'augmentation des taux de recyclage, sur la transition vers une énergie propre pour les processus de fusion et sur des efforts visant à conserver les déchets d'aluminium sur le marché national.

Dans un contexte où l'importance de l'aluminium est grandissante pour les véhicules électriques et les infrastructures d'énergie renouvelable, le gouvernement japonais a conscience qu'il doit composer avec un marché mondial au sein duquel la concurrence pour les matériaux à faible teneur en carbone va s'intensifier. Le recyclage et la standardisation de la production d'aluminium sont considérés par le Japon comme essentiels à la création d'un approvisionnement durable en aluminium.

Le secteur japonais de l'aluminium est soutenu par le Fonds vert pour l'innovation, instrument central de la décarbonation industrielle nipponne, qui encourage

la recherche et le développement en matière de recyclage, d'électrification et de CCUS. Les parties prenantes soulignent la nécessité d'un soutien politique supplémentaire par le biais d'initiatives favorisant l'approvisionnement vert et de mandats d'écoconception, afin de stimuler la demande d'aluminium à faible teneur en carbone. La législation ne s'est pas encore emparée du marché de l'aluminium vert mais des efforts sont en cours pour créer des standards en matière de produits d'aluminium à faible teneur en carbone.

Les éléments clés de
la stratégie japonaise :

- **Une transition énergétique pour la fusion de l'aluminium :** le Japon étudie les technologies d'électrification, d'hydrogène, d'ammoniac et de CCUS pour décarboner le processus de fusion de l'aluminium. Toutefois, la faisabilité de ces stratégies est mise à mal par les ressources contraintes du Japon en énergie propre et les limites des progrès technologiques actuels.
- **Intensité carbone des importations :** le pays importe de l'aluminium primaire, ce qui rend ses efforts de décarbonation eux-mêmes dépendants des politiques de décarbonation menées par les pays exportateurs. Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières est envisagé par Tokyo pour atténuer les émissions provenant des importations. Toutefois, la mise en œuvre d'une telle politique fait craindre des représailles commerciales et laisse entrevoir une certaine difficulté à quantifier précisément les émissions sur l'ensemble du cycle de vie des importations actuelles d'aluminium primaire.
- **Taux de recyclage et gestion des déchets :** le Japon se prévaut d'un taux de recyclage de l'aluminium élevé, avec 76 % des déchets d'aluminium recyclés au niveau national, ce qui représente 48 % des intrants. Toutefois, le taux de recyclage des produits semi-finis reste faible (10 %) et 20 % des déchets d'aluminium sont exportés, ce qui réduit les ressources nationales disponibles pour le recyclage.

Le pays cherche à faire passer le taux de recyclage de tous les produits en aluminium à 75 % d'ici 2050 pour réduire sa dépendance aux importations. Le gouvernement envisage des mesures qui permettront de conserver les déchets d'aluminium sur le territoire pour des usages domestiques, en l'absence actuelle de restrictions à l'exportation.

LA CORÉE, SOUCIEUSE DE PRÉSERVER SA PLACE DE CHOIX

Le secteur sud-coréen de l'aluminium cherche à concilier promesses suscitées par l'augmentation de la demande et objectifs de décarbonation. Stimulée par la croissance des industries de l'automobile, de l'électronique et de la construction, la demande en aluminium augmente dans le pays, mais la production nationale reste limitée, ce qui rend la Corée fortement dépendante aux importations. La forte intensité énergétique de ce secteur et la dépendance sud-coréenne à l'électricité produite à partir de combustibles fossiles complexifient la décarbonation de cette industrie. En l'état actuel des choses et si la Corée ne consent pas à mener des investissements substantiels dans l'électrification propre, la réduction des émissions du secteur sera délicate et, dans tous les cas de figure, elle prendra du temps.

Le processus de production d'aluminium en Corée est très énergivore et le secteur dépend d'un réseau électrique obsolète, en grande partie centré sur le charbon, à l'origine de fortes émissions de carbone. Cette spécificité sud-coréenne nécessiterait des investissements coûteux dans des technologies propres que le secteur ne mène pourtant pas actuellement. La Corée importe une part importante de son aluminium auprès de pays dont les réglementations environnementales varient, ce qui brouille encore les efforts de gestion de l'empreinte carbone de sa chaîne d'approvisionnement.

La mise en œuvre du MACF de l'UE est source d'incertitudes pour les exportations coréennes d'aluminium, car les producteurs devront faire face à des coûts additionnels en raison de l'intensité carbone de leurs produits, ce qui pourrait nuire à la compétitivité des produits coréens sur le marché européen.

Bien que le gouvernement soutienne les partenariats public-privé et la R&D, le programme de décarbonation de l'économie poursuivi plus largement par la Corée n'a pas fait du secteur de l'aluminium une priorité. La *Stratégie d'innovation technologique pour une croissance verte et neutre en carbone*, définie en 2022, met l'accent sur la décarbonation de l'acier, du ciment et de la chimie, l'aluminium ne recevant qu'une attention limitée. La dépendance du secteur à l'égard des importations suggère par ailleurs que les **stratégies futures pourraient se concentrer davantage sur le recyclage et l'importation d'aluminium que sur la transformation des processus nationaux de production.**

Les éléments clés de
la stratégie coréenne :

- **Hydrogène et électrification propre :** Le gouvernement s'est concentré sur l'hydrogène propre et l'électrification propre (notamment nucléaire) pour décarboner la production d'aluminium. Cependant, le réseau actuel, qui présente une forte intensité carbone, et le manque d'accès à l'hydrogène rendent difficile la mise en œuvre à grande échelle de ces stratégies.
- **Économie circulaire et recyclage de l'aluminium :** le gouvernement encourage le recyclage de l'aluminium comme alternative moins émettrice à la production primaire, et la Corée, qui est déjà un important importateur de déchets d'aluminium, cherche à augmenter ses importations de ferraille d'aluminium. Cependant, les infrastructures et les technologies de recyclage nécessitent encore des investissements supplémentaires avant de pouvoir être à bon droit qualifiées de vertes, et l'utilisation de déchets plastiques dans le recyclage pose également des problèmes environnementaux.
- **Soutien à la CCUS :** des investissements sont réalisés dans la recherche et le développement des technologies CCUS, dont le secteur de l'aluminium est considéré comme l'un des principaux bénéficiaires dans le pays. Cependant, les technologies de capture du carbone sont davantage envisagées

comme une solution à long terme, dont la mise en œuvre complète n'est pas attendue avant les années 2040.

L'EUROPE FACE À DES CHOIX STRATÉGIQUES

Malgré une chaîne de valeur solide en aval, avec plus de 600 usines réparties dans 30 pays (Espace économique européen), la production d'aluminium primaire est en déclin sur le continent européen, qui a vu sa capacité fondre de 30 % depuis 2008, principalement en raison des coûts élevés de l'énergie. Par conséquent, l'UE dépend fortement des importations, avec environ 9,4 millions de tonnes d'aluminium par an, alors qu'elle n'en produit que 2,2 sur son sol. L'Europe est également l'un des principaux exportateurs de déchets d'aluminium, avec plus de 1,5 million de tonnes envoyées à l'étranger chaque année.

Bien que la production européenne d'aluminium soit relativement économe en carbone, avec des émissions de 6,8 kg de CO₂ par kg d'aluminium – par rapport à une moyenne mondiale à 16,1 kg – l'intensité des émissions varie considérablement d'un État membre à l'autre en raison des mix énergétiques de chacun. La France et la Norvège, qui utilisent l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité, atteignent des intensités carbone beaucoup plus faibles que d'autres, comme l'Allemagne et l'Italie, qui s'appuient sur les combustibles fossiles. Cette disparité souligne l'importance de la décarbonation des réseaux électriques, étape clé dans la réduction de l'empreinte carbone globale du secteur.

Les éléments clés de
la stratégie européenne :

- **Utilisation d'électricité propre et électrification :** l'Union européenne a intégré des objectifs de décarbonation dans ses politiques plus larges de transition énergétique, notamment par le biais de la directive sur les énergies renouvelables (RED III) et de la directive sur l'efficacité énergétique. Ces dispositifs visent à garantir qu'une plus grande

partie de l'électricité utilisée dans la production d'aluminium provienne de sources renouvelables, avec une augmentation annuelle de 1,6 % jusqu'en 2030 et un objectif de 42,5 % d'énergie renouvelable d'ici 2030.

L'UE a fait de l'efficacité énergétique une autre priorité, avec de nouvelles règles exigeant des audits énergétiques et des systèmes de gestion pour les industries à forte consommation comme celle de l'aluminium. Ces mesures entendent réduire la consommation finale d'énergie de 11,7 % et augmenter les économies d'énergie de 1,9 % par an d'ici à 2030.

- **Technologie des anodes inertes** : bien que l'UE et les États membres soutiennent la recherche et le développement autour de cette technologie d'avant-garde, elle en est encore au stade du développement et le déploiement à grande échelle des projets ne constitue pas encore un horizon réaliste.

Recyclage et économie circulaire

L'Europe a fait des progrès considérables en matière de recyclage de l'aluminium, avec un taux de recyclage de 51 % et un objectif de circularité totale d'ici à 2030. Le plan d'action de l'UE pour l'économie circulaire soutient cet objectif en améliorant les systèmes de collecte, les normes d'écoconception et les technologies de recyclage avancées. Toutefois, l'exportation de déchets d'aluminium constitue un enjeu de taille, car elle compromet le potentiel de réduction des émissions de carbone du recyclage en Europe. Le règlement de l'UE sur les transferts de déchets entend pallier cela en encourageant la conservation des déchets d'aluminium pour le recyclage national, mais son efficacité n'a pas encore été démontrée.

- **Principaux défis du MACF pour le secteur de l'aluminium** : comme évoqué plus haut, l'introduction du MACF devrait remodeler le secteur de l'aluminium en imposant des coûts de carbone sur les importations dans l'UE. Les principaux fournisseurs étrangers de l'UE devront faire face à des coûts carbone plus élevés selon l'intensité carbone de

leurs processus de production. Le MACF ne couvrira néanmoins que les émissions directes pendant sa phase transitoire et ne tiendra ainsi pas compte des émissions indirectes liées à la consommation d'électricité, qui représentent pourtant 62 % de l'empreinte carbone du secteur. Cette omission pourrait entraîner des efforts de décarbonation qui resteront partiels et des désavantages concurrentiels pour les producteurs européens qui dépendent du réseau électrique.

En outre, l'accent mis sur l'aluminium primaire risque d'être à l'origine de phénomènes de fuites de carbone en aval de la chaîne de valeur, puisque les producteurs de produits semi-finis en aluminium chercheront un moyen de faire face à une augmentation des coûts. Cela pourrait provoquer une délocalisation de la production en dehors de l'UE, dans des régions où les réglementations en matière de carbone sont moins strictes. Le transfert de ressources et le contournement pourraient donc contrecarrer l'efficacité du MACF : les pays non membres de l'UE chercheront ainsi à **contourner le mécanisme en exportant des déchets considérés comme neutres en carbone ou en modifiant les processus de production** afin d'éviter d'avoir à payer cette taxe sur le carbone.

Le secteur européen de l'aluminium est engagé sur la voie d'une décarbonation complexe, façonnée par un mélange de politiques ambitieuses, d'innovations technologiques et de défis structurels. La phase de transition qui s'est ouverte nécessitera de continuer à mettre l'accent sur la décarbonation des réseaux électriques, de faire progresser les technologies d'avant-garde comme les anodes inertes et de relever les défis systémiques posés par la concurrence mondiale et les fuites de carbone. Le MACF, bien qu'il soit un outil prometteur, devra être affiné pour prendre en compte l'intégralité de l'impact carbone de la production d'aluminium, en particulier en ce qui concerne les produits en aval de la chaîne de valeur. Le succès de l'Europe dans la décarbonation de l'aluminium dépendra des efforts coordonnés au niveau de l'UE et des États membres.

RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS POUR UNE STRATÉGIE INDUSTRIELLE EUROPÉENNE DE DÉCARBONATION DU SECTEUR DE L'ALUMINIUM

Recommandation A

Étendre la couverture du MACF et améliorer les dispositifs de contrôle :

- 1. Élargir le champ d'application du MACF :** étendre le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pour inclure les produits semi-finis et certains produits finis en aluminium dès que possible. Cela permettra de capturer une plus grande part des émissions intégrées et d'empêcher les fuites de carbone tout au long de la chaîne de valeur.
- 2. Simplifier les procédures administratives :** élaborer des procédures rationalisées et des lignes directrices claires pour le calcul des émissions incorporées dans les produits semi-finis et finis. Cela réduira les charges administratives et les coûts de mise en conformité pesant sur les entreprises.
- 3. Renforcer le contrôle et l'application des règles :** renforcer les mécanismes de suivi et d'application pour empêcher le contournement du MACF et veiller à ce que tous les produits concernés y soient soumis. Cela contribuera à maintenir des conditions de concurrence équitables au sein de l'industrie.
- 4. Appliquer un facteur d'émission moyenne du mix électrique :** pour empêcher le contournement du MACF par des producteurs non européens, il faut envisager d'appliquer le facteur d'émission du mix électrique moyen du pays exportateur aux données d'exportation, même à titre de mesure transitoire. Bien que controversée, cette approche garantira une représentation plus précise de l'empreinte carbone du secteur de l'aluminium dans le pays exportateur.

Recommandation B

Davantage soutenir la R&D :

- 1. Augmenter le soutien accordé au financement des technologies à faible émission carbone :** accroître le financement et le soutien à la recherche, au développement et au déploiement des technologies à faible émission carbone. Cela inclut des incitations financières et un soutien réglementaire pour accélérer l'adoption d'innovations technologiques comme les anodes inertes et les procédés à base d'hydrogène.
- 2. Soutenir la transition et la compétitivité du secteur de l'aluminium de l'UE :** mettre en œuvre des mesures complémentaires comme des mesures de soutien financier à l'innovation, à l'amélioration de l'efficacité énergétique et l'appui à la transition pour soutenir l'adaptation de l'industrie au nouvel environnement réglementaire.

Recommandation C

Promouvoir une normalisation verte pour l'aluminium :

- 1. Améliorer les normes de recyclage et la compétitivité :** relever le défi de la normalisation pour atteindre les objectifs en matière d'émission de CO₂. Le secteur de l'aluminium dispose d'un potentiel important de réduction des émissions de gaz à effet de serre à la condition d'une augmentation des taux de recyclage.
- 2. Garantir un prix compétitif pour l'aluminium recyclé vert** afin d'éviter qu'il ne soit remplacé par des matériaux à plus forte intensité carbone comme le plastique. Établir des normes justes pour faciliter une comparaison équitable entre l'aluminium recyclé vert et ses équivalents à forte intensité de carbone.

3. Soutenir la normalisation en aval de la chaîne de valeur : promouvoir la normalisation pour créer une compatibilité entre l'aluminium vert et l'acier et garantir une tarification équitable. La méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV) pour les voitures vertes devrait être établie entre 2025 et 2026, ce qui stimulera la concurrence sur le marché de l'automobile pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. **Les marchés publics et le soutien de la puissance publique sont nécessaires** pour accompagner le marché des primes vertes et garantir une concurrence équitable **sur le fondement de mesures normalisées.**

Recommandation D

Comblent les lacunes en matière de financement :

- 1. Faciliter les investissements :** pour soutenir les investissements en capital dans les industries de l'aluminium (et de l'acier) pour les produits écologiques de haute qualité, un **soutien par la puissance publique, par le biais d'investissements publics conséquents, est nécessaire, comme recommandé par ce rapport à travers la création d'obligations industrielles propres européennes.**
- 2. Adopter un mécanisme de soutien aux dépenses d'exploitation pendant la période de transition afin de réduire les incertitudes liées à la demande** et d'encourager une adoption facile par le marché de produits écologiques de haute qualité.