



Conseil de
l'Union européenne

Bruxelles, le 17 novembre 2022
(OR. en)

14916/22

ENER 605
CLIMA 610
RECH 604
COMPET 915
IND 483
TRANS 719
EMPL 435

NOTE DE TRANSMISSION

Origine:	Pour la secrétaire générale de la Commission européenne, Madame Martine DEPREZ, directrice
Date de réception:	15 novembre 2022
Destinataire:	Madame Thérèse BLANCHET, secrétaire générale du Conseil de l'Union européenne
N° doc. Cion:	COM(2022) 643 final
Objet:	RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN ET AU CONSEIL Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres

Les délégations trouveront ci-joint le document COM(2022) 643 final.

p.j.: COM(2022) 643 final



Bruxelles, le 15.11.2022
COM(2022) 643 final

RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN ET AU CONSEIL

Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres

Table des matières

1.	Introduction.....	1
2.	Compétitivité globale du secteur des énergies propres de l'Union.....	3
	2.1 Présentation du contexte: évolution récente	3
	2.1.1 <i>Prix et coûts de l'énergie: évolution récente</i>	3
	2.1.1 <i>Chaînes d'approvisionnement mondiales en ressources et en matières premières: faiblesses et perturbations</i>	6
	2.1.2 <i>Incidences de la COVID-19 et reprise</i>	8
	2.1.3 <i>Capital humain et compétences</i>	10
	2.2 Tendances en matière de recherche et d'innovation	13
	2.3 Le paysage mondial concurrentiel des énergies propres	16
	2.4 Le paysage du financement de l'innovation dans l'Union	19
	2.5 Effets du changement systémique	22
3.	Gros plan sur les principales technologies et solutions en matière d'énergies propres ...	24
	3.1. Énergie solaire photovoltaïque	24
	3.2. Énergie éolienne terrestre et en mer	26
	3.3. Pompes à chaleur pour le bâtiment	29
	3.4. Batteries	31
	3.5. Production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau	33
	3.6. Carburants renouvelables	35
	3.7. Technologies intelligentes pour la gestion de l'énergie	38
	3.8. Principales conclusions sur d'autres technologies énergétiques propres	41
4.	Conclusion	45
	ANNEXE I: Cadre méthodologique pour l'évaluation de la compétitivité de l'Union.....	48

1. INTRODUCTION

L'agression militaire injustifiée et non provoquée de la Russie contre l'Ukraine a considérablement perturbé le système énergétique mondial. Elle a montré la dépendance excessive de l'Union européenne (UE) à l'égard des combustibles fossiles russes et souligné la nécessité de renforcer la résilience du système énergétique de l'UE, qui avait déjà été mis à l'épreuve par la crise de la COVID-19¹. Les prix record de l'énergie et le risque de pénurie dans toute l'UE ont accentué l'urgence d'accélérer la double transition écologique et numérique dans le cadre du pacte vert pour l'Europe² et de garantir un système énergétique plus sûr, abordable, résilient et indépendant.

L'année 2022 a été marquée par le plan REPowerEU³, un élément essentiel de la réponse de l'UE à la crise sans précédent. Ce plan est une feuille de route visant à mettre fin à la dépendance de l'UE à l'égard des importations d'énergie russes dès que possible à l'aide de mesures liées aux économies d'énergie, à la diversification des approvisionnements énergétiques et à l'accélération du déploiement des énergies renouvelables.

Par ailleurs, avec la communication «Des économies de gaz pour se préparer à l'hiver»⁴, la Commission a proposé un plan pour réduire de 15 % la consommation de gaz dans l'UE jusqu'au printemps prochain. Le Conseil a adopté deux règlements concernant respectivement le stockage et les mesures coordonnées de réduction de la demande de gaz⁵. En septembre 2022, le Conseil a trouvé un accord sur la proposition de la Commission pour «une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie»⁶ visant à atténuer l'incidence des prix de l'énergie sur les consommateurs de l'UE tout en remédiant à la volatilité sans précédent et à l'incertitude sur les marchés de l'énergie au niveau mondial et de l'UE. En particulier, cette intervention comporte une réduction de la consommation d'électricité, un plafond de revenu pour la production d'électricité inframarginale et une cotisation de solidarité provisoire et obligatoire de la part des entreprises de combustibles fossiles.

Atteindre les objectifs du plan REPowerEU nécessitera un investissement cumulé supplémentaire de 210 milliards d'EUR entre aujourd'hui et 2027, outre l'investissement déjà nécessaire pour parvenir à la neutralité climatique d'ici 2050⁷. Cet investissement contribuera à l'intensification et à l'accélération massives du déploiement des technologies énergétiques propres (par exemple le solaire photovoltaïque, l'éolien, les pompes à chaleur, les

¹ COM(2021) 952 final et SWD(2021) 307 final («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

² COM(2019) 640 final («Le pacte vert pour l'Europe»).

³ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»)

⁴ COM(2022) 360 final («Des économies de gaz pour se préparer à l'hiver»)

⁵ JO L 173 du 30.6.2022. Règlement (UE) 2022/1032 du Parlement européen et du Conseil du 29 juin 2022 modifiant les règlements (UE) 2017/1938 et (CE) n° 715/2009 en ce qui concerne le stockage de gaz; JO L 206 du 8.8.2022. Règlement (UE) 2022/1369 du Conseil du 5 août 2022 relatif à des mesures coordonnées de réduction de la demande de gaz.

⁶ COM(2022) 473 final («Proposition de règlement du Conseil sur une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie»).

⁷ COM(2021) 557 final [«Modification de la directive 2018/2001, du règlement (UE) 2018/1999 et de la directive 98/70/CE en ce qui concerne la promotion de l'énergie produite à partir de sources renouvelables»].

technologies économes en énergie, le biométhane et l'hydrogène renouvelable), qui est d'une importance capitale pour remédier à la double urgence énergétique et climatique. Relever les défis technologiques et non technologiques apparentés nécessitera également un secteur des énergies propres de l'UE robuste et compétitif.

Le plan REPowerEU a confirmé l'engagement en faveur de l'objectif à long terme du pacte vert pour l'Europe consistant à devenir neutre sur le plan climatique d'ici à 2050 et de la mise en œuvre intégrale du paquet «Ajustement à l'objectif 55» présenté en juillet 2021⁸. Pour atteindre les objectifs du pacte vert pour l'Europe, l'UE devra élaborer, mettre en œuvre et déployer à plus grande échelle des solutions innovantes en matière d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Étant donné que la moitié des réductions des émissions de gaz à effet de serre attendues d'ici à 2050 nécessiteront des technologies qui ne sont pas encore prêtes pour le marché⁹, les activités de recherche et d'innovation (R&I) sont essentielles pour accroître la souveraineté technologique et la compétitivité mondiale de l'UE.

Dans ce contexte et conformément aux précédentes éditions, le présent rapport sur les progrès réalisés en matière de compétitivité¹⁰, le troisième du genre, expose la situation actuelle et prévue pour différentes technologies et solutions énergétiques propres et à faible émission de carbone¹¹. Il cartographie également les aspects liés à la recherche, à l'innovation et à la compétitivité de l'ensemble du système énergétique propre de l'UE¹².

L'édition de 2021 était importante pour évaluer la reprise économique après la COVID-19 puisqu'elle mettait en évidence la manière dont les améliorations de la compétitivité permettaient d'atténuer les répercussions sociales et économiques de la pandémie à court et moyen termes.

Le rapport de cette année doit tenir compte de l'appel lancé par l'UE en faveur d'un déploiement accru des technologies énergétiques propres, ainsi que de l'incidence de la crise énergétique sur le secteur. Dans ce contexte, le rapport s'appuie sur les données disponibles pour donner un aperçu des moyens permettant de renforcer la compétitivité de l'UE dans les chaînes de valeur énergétique stratégiques tout en augmentant la pénétration des technologies énergétiques propres de l'UE. En même temps, compte tenu des rapides évolutions géopolitiques, énergétiques et climatiques en cours, les données quantitatives les plus récentes ne sont pas toujours en mesure de refléter correctement la situation sans précédent.

⁸ COM(2021) 550 final («Ajustement à l'objectif 55»: atteindre l'objectif climatique de l'UE à l'horizon 2030 sur la voie de la neutralité climatique»).

⁹ Commission européenne, direction générale de la recherche et de l'innovation, *Research and innovation to REPower the EU*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022 <https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/9868d789-dbd4-11ec-a534-01aa75ed71a1>.

¹⁰ Rapport de la Commission au Parlement européen et au Conseil sur «*les progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres*» (première édition: COM(2020) 953 final; deuxième édition: COM(2021) 952 final.

¹¹ Il s'agit notamment des technologies et solutions suivantes: énergie solaire photovoltaïque, énergie éolienne terrestre et en mer, pompes à chaleur pour le bâtiment, batteries, production d'hydrogène renouvelable par électrolyse, carburants renouvelables, technologies intelligentes pour la gestion de l'énergie, hydroélectricité, énergie marine, géothermie, captage, utilisation et stockage du carbone, bioénergie, énergie solaire à concentration (CSP) et chaleur, nucléaire.

¹² Dans ce rapport, le système énergétique propre couvre trois segments de marché:

- 1) les énergies renouvelables, y compris la transformation, l'installation et la production;
- 2) les systèmes d'efficacité énergétique et de gestion de l'énergie, qui comprennent des technologies et des activités telles que les compteurs intelligents, les réseaux intelligents, le stockage de l'énergie et la rénovation des bâtiments; et;
- 3) la mobilité électrique, qui comprend des composants tels que les batteries et les piles à combustible essentielles pour les véhicules électriques (VE) et les infrastructures de recharge.

Par conséquent, le présent rapport se concentre sur les progrès réalisés jusqu'à la fin de 2021 en s'appuyant sur les données consolidées disponibles à ce moment-là. Des données plus récentes ont été indiquées lorsqu'elles étaient disponibles et fiables. Elles sont toutefois rares et ne peuvent donc pleinement rendre compte de l'incidence de la crise énergétique actuelle sur la compétitivité des technologies énergétiques propres. Dans la mesure du possible et pour tenir compte des récents défis auxquels le secteur des énergies propres est confronté et de leur incidence sur celui-ci, l'analyse s'appuie sur les évaluations qualitatives et les répercussions déjà visibles pour l'année 2022; toutefois, les effets ne pourront être pleinement évalués que dans le rapport sur les progrès de l'année prochaine.

La compétitivité est un concept complexe et à multiples facettes qui ne peut se définir par un seul indicateur¹³. Le présent rapport évalue donc la compétitivité de l'ensemble du système énergétique propre de l'UE (section 2), ainsi que de solutions et technologies spécifiques en matière d'énergies propres (section 3) en analysant une série déterminée d'indicateurs (annexe I). À partir de cette année, l'Observatoire des technologies énergétiques propres (CETO) de la Commission réalisera l'analyse approfondie basée sur des éléments de preuve à l'appui du présent rapport¹⁴.

Le présent rapport est publié conformément à l'article 35, paragraphe 1, point m), du règlement sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat¹⁵ et accompagne le rapport sur l'état de l'union de l'énergie¹⁶.

2. COMPETITIVITE GLOBALE DU SECTEUR DES ENERGIES PROPRES DE L'UNION

2.1 Présentation du contexte: évolution récente

2.1.1 Prix et coûts de l'énergie: évolution récente

Comme indiqué dans les précédents rapports sur les progrès réalisés en matière de compétitivité, les prix industriels du gaz et de l'électricité ont été plus élevés dans l'UE que dans la majorité des pays du G20 non membres de l'UE au cours de la dernière décennie. L'invasion injustifiée et délibérée de l'Ukraine par la Russie a fait augmenter les prix observés en 2021, qui atteignaient déjà des records, dans l'UE et de nombreuses autres régions du monde. Les prix de gros du gaz en Europe étaient cinq fois plus élevés au premier trimestre de 2022 que l'année précédente et en août 2022, ils ont atteint un record historique avant de retomber à des niveaux plus faibles. Étant donné que les centrales au gaz déterminent souvent les prix sur les marchés européens, la tendance a été similaire pour les prix de gros de l'électricité¹⁷. Ils ont également eu une incidence sur les coûts de l'industrie manufacturière dans certains secteurs, en particulier, les industries les plus énergivores. Le prix des matières premières a également augmenté. Le cinquième rapport sur les prix et les

¹³ D'après les conclusions du Conseil «Compétitivité» du 28 juillet 2020.

¹⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

¹⁵ JO L 328 du 21.12.2018. Règlement (UE) 2018/1999 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat

¹⁶ COM(2022) 547, «État de l'union de l'énergie 2022».

¹⁷ Commission européenne, direction générale de l'énergie, Observatoire du marché de l'énergie, *Rapport trimestriel sur les marchés européens du gaz*, Vol. 15.

coûts de l'énergie en Europe¹⁸, qui doit être adopté à la fin de 2022, fournira des données et une analyse quantitatives actualisées.

L'UE et les États membres ont déjà pris plusieurs mesures depuis 2021 pour contribuer à atténuer les effets des prix élevés de l'énergie¹⁹. La proposition de la Commission relative à un règlement sur une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie, telle qu'adoptée par le Conseil de septembre 2022, comporte des outils permettant de réduire d'environ 4 % la consommation de gaz pour produire de l'électricité au cours de l'hiver, réduisant ainsi la pression sur les prix et une proposition visant à lever plus de 140 milliards d'EUR pour que les États membres puissent contribuer à réduire les effets des prix élevés de l'énergie sur les consommateurs²⁰.

Bien que les effets de cette tendance sur la chaîne de valeur des technologies énergétiques propres restent mitigés, elle peut indiquer une amélioration de la compétitivité de ces énergies, en particulier par rapport aux autres solutions non renouvelables²¹. Par exemple, la production d'électricité solaire photovoltaïque est déjà la source de production la plus économique dans un nombre croissant de pays. Toutefois, dans la production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau, le coût de l'électricité est l'un des principaux facteurs affectant la viabilité économique des électrolyseurs.

Figure 1 fournit davantage d'informations sur les coûts des technologies énergétiques propres. Elle donne un aperçu des calculs des coûts totaux moyens actualisés de l'énergie produite (LCOE) pour l'année 2021 pour une série de situations représentatives²² dans l'ensemble de l'UE. Les résultats indiquent que les parcs de technologies à coûts variables faibles (y compris les coûts d'exploitation variables et les coûts de carburant) ont été très concurrentiels en 2021. Ce constat vaut tout particulièrement pour les énergies solaire et éolienne, dont les LCOE sont compris entre 40 et 60 EUR/MWh. En outre, le parc de turbines à gaz à cycle combiné semble avoir été plus compétitif en moyenne en 2021 que les centrales au charbon. Les turbines à gaz à cycle combiné ont bénéficié d'un acheminement préférentiel au cours des trois premiers trimestres de 2021, le changement de combustible n'étant devenu important qu'au quatrième trimestre de 2021. Cette situation a permis une augmentation considérable des facteurs de capacité pour les turbines à gaz à cycle combiné en 2021²³. La hausse des prix du gaz a continué d'encourager le passage du gaz au charbon au cours du premier trimestre de 2022, malgré la hausse des prix du carbone. Toutefois, les prix élevés du charbon au début du deuxième trimestre 2022 ont commencé à combler l'écart, et les récentes annonces de certains États membres indiquant qu'ils allaient accroître

¹⁸ Édition précédente 2020: COM(2020) 951 final, «Prix et coûts de l'énergie en Europe».

¹⁹ Parmi ces mesures figure la communication de la Commission COM(2021) 660 final («Lutte contre la hausse des prix de l'énergie: une panoplie d'instruments d'action et de soutien») et la communication COM(2022) 138 final («Sécurité de l'approvisionnement et prix de l'énergie abordables»).

²⁰ COM(2022) 473 final («Proposition de règlement du Conseil sur une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie»).

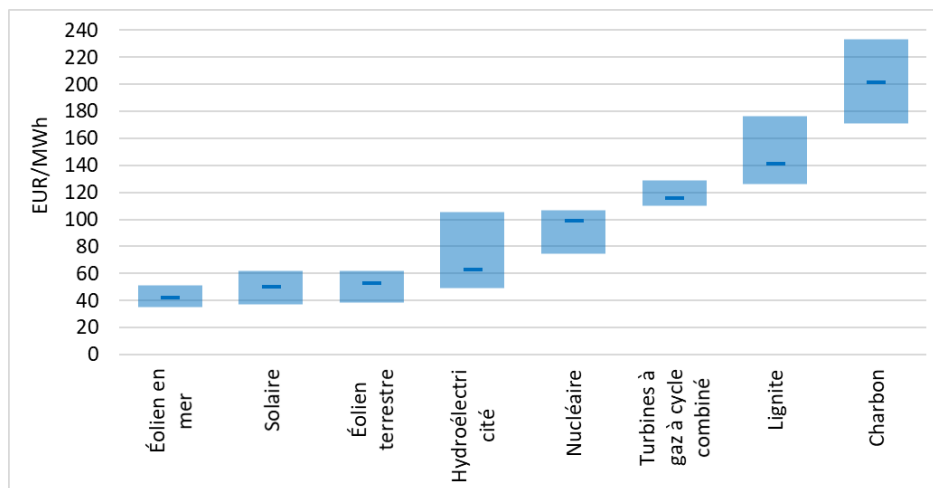
²¹ Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), [World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway](#), Abou Dhabi.

²² Les points de données sont indiqués pour le premier à troisième intervalle interquartile de façon à filtrer les valeurs aberrantes.

²³ Les facteurs de capacité modélisés pourraient surestimer le changement réel de combustible et donc les différences de facteurs de capacité dans une certaine mesure (voir section 2.1 dans Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. et Koolen, D., [Simulating the electricity price hike in 2021](#), JRC127862, EUR 30965 EN, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022).

temporairement l'utilisation des centrales au charbon ont fait craindre une nouvelle hausse des prix du charbon dans les mois à venir.

Figure 1: Aperçu des calculs des coûts totaux moyens actualisés de l'énergie produite (LCOE) par parc de technologies pour l'année 2021. Les barres bleu clair indiquent une fourchette dans l'EU27. Les lignes bleues épaisses montrent la médiane.



Source: simulation du modèle METIS du Centre commun de recherche, 2022²⁴

Les prix très élevés de l'énergie ont généré d'importants gains financiers pour les producteurs d'électricité dont les coûts marginaux sont plus faibles (par exemple ceux qui sont actifs dans les secteurs des énergies éolienne et solaire). La Commission a donc proposé un règlement relatif à une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie²⁵, qui a fait l'objet d'un accord politique lors de la session extraordinaire du Conseil «Énergie» du 30 septembre. Ce règlement prévoit le plafonnement et la redistribution temporaires des recettes tirées des technologies inframarginales afin d'atténuer les difficultés rencontrées par les consommateurs d'énergie et la société en général. Il comporte également une contribution de solidarité temporaire obligatoire ciblant les bénéficiaires des entreprises actives dans les secteurs du pétrole brut, du gaz naturel, du charbon et du raffinage, qui ont considérablement augmenté par rapport aux années précédentes. La crise actuelle de l'énergie et des combustibles fossiles est le dernier rappel en date de la nécessité d'un changement de paradigme afin d'assurer la stabilité future.

Le plan REPowerEU préconise une intensification et une accélération massives du déploiement des énergies renouvelables dans la production d'électricité, l'industrie, les bâtiments et les transports, non seulement pour parvenir plus rapidement à l'indépendance énergétique de l'UE et donner un coup d'accélérateur à la transition écologique, mais aussi pour diminuer les prix de l'électricité et réduire les importations de combustibles fossiles au fil du temps²⁶. Les mesures consisteront notamment à stimuler le recours aux énergies renouvelables, ce qui nécessitera une infrastructure électrique adaptée à l'objectif poursuivi.

²⁴ CCR127862 Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. et Koolen, D., Simulating the electricity price hike in 2021, EUR 30965 EN, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022, Luxembourg, 2022.

²⁵ COM(2022) 473 final («Proposition de règlement du Conseil sur une intervention d'urgence pour faire face aux prix élevés de l'énergie»).

²⁶ Voir la section 3, page 6 – COM(2022) 230 final («plan REPowerEU»).

Pour atteindre les objectifs du plan REPowerEU, le déploiement des énergies renouvelables doit être combiné à des mesures d'économies d'énergie et d'efficacité énergétique²⁷.

2.1.1 Chaînes d'approvisionnement mondiales en ressources et en matières premières: faiblesses et perturbations

Outre les préoccupations relatives à la fiabilité des chaînes d'approvisionnement existantes, et en particulier à l'approvisionnement en gaz naturel, tant la pandémie de COVID-19 que le contexte géopolitique actuel ont entraîné des perturbations dans certaines chaînes d'approvisionnement mondiales en matières premières et en ressources, et ont donc touché le secteur des énergies propres. L'UE dépend fortement des approvisionnements en provenance de pays tiers et la double transition écologique et numérique sera alimentée par l'accès aux matières premières. Les tendances récentes dans les chaînes d'approvisionnement mondiales en matières premières et en ressources ont mis en évidence l'urgence de renforcer la résilience de l'UE et sa sécurité d'approvisionnement énergétique grâce à l'indépendance pour ce qui est des matières premières et des ressources et à la souveraineté technologique.

La disponibilité de matières premières et la résilience des chaînes d'approvisionnement sont une condition préalable au respect du plan REPowerEU, car la demande élevée de technologies propres va de pair avec une demande accrue de ressources telles que les métaux et les minéraux. Les technologies qui dépendent fortement des matières premières importées ou des composants contenant ces matières sont le vent (aimants permanents, terres rares), le photovoltaïque solaire (argent, germanium, gallium, indium, cadmium, silicium métallique) et les batteries (cobalt, lithium, graphite, manganèse, nickel)²⁸. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit que la demande mondiale totale de minerais, en raison du déploiement annoncé des énergies renouvelables, devrait doubler, voire quadrupler d'ici à 2040²⁹.

La flambée des prix des matières premières a une incidence sur les coûts des technologies énergétiques propres. Les prix des matières premières nécessaires à ces technologies, comme le lithium et le cobalt, ont plus que doublé en 2021, tandis que ceux du cuivre et de l'aluminium ont augmenté d'environ 25 % à 40 %³⁰. La même année, la tendance à la réduction des coûts observée depuis une décennie pour les éoliennes et les modules photovoltaïques s'est inversée: par rapport à 2020, leurs prix ont augmenté respectivement de 9 % et 16 %. En 2022, les groupes-batteries seront au moins 15 % plus chers qu'en 2021³¹.

Un nouveau défi consiste à éviter de remplacer la dépendance à l'égard des combustibles fossiles par une dépendance vis-à-vis des matières premières importées et de l'expertise technologique nécessaire à leur transformation et à la fabrication de composants. Par exemple, la Chine dispose d'un quasi-monopole dans l'exploitation minière et la transformation des terres rares essentielles pour les technologies énergétiques propres, ainsi que d'une position forte sur le marché au sein de leur chaîne de production.

²⁷ COM(2022) 360 final («Des économies de gaz pour se préparer à l'hiver»)

²⁸ Commission européenne, *Critical Raw Materials in strategic technologies and sectors – A foresight study*, 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>.

²⁹ AIE, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, version révisée en mai 2022.

³⁰ Kim, T., *Critical minerals threaten a decades-long trend of cost declines for clean energy technologies*, site web de l'AIE, mai 2022.

³¹ AIE, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, version révisée de mai 2022.

Le défi de la dépendance à l'égard des ressources est triple. Premièrement, l'UE est confrontée à une concurrence accrue pour l'accès aux matières premières critiques, étant donné que d'autres pays redoublent d'efforts pour renforcer leurs propres capacités et réduisent potentiellement leurs exportations. La moitié des 30 matières premières critiques recensées par l'UE³² sont importées dans des proportions supérieures à 80 % en volume, ce qui est particulièrement préoccupant lorsque l'on sait que l'offre se concentre dans un très petit nombre de pays.

Deuxièmement, malgré les progrès importants réalisés en matière d'économie circulaire et de taux de recyclage (plus de 50 % de certains métaux³³ sont désormais recyclés, couvrant plus de 25 % de leur consommation³⁴), les matières premières secondaires ne suffiront pas à elles seules à répondre à une demande élevée, et toujours croissante. Les matières premières secondaires posent également des problèmes supplémentaires (par exemple, coûts de recyclage plus élevés pour certains matériaux, faisabilité technique et disponibilité insuffisante d'assemblages en fin de vie). Toutefois, l'économie du recyclage s'améliorera à mesure que le coût des matières premières primaires et le volume des assemblages en fin de vie disponibles augmenteront. Les matières premières secondaires constitueront donc une source d'approvisionnement importante après 2030, pour autant que les investissements nécessaires commencent dès à présent. La conception innovante de la recyclabilité est également très importante.

Troisièmement, l'extraction de matières premières des sols européens offre un potentiel théorique permettant de couvrir entre 5 et 55 % des besoins de l'Europe en 2030³⁵. Toutefois, la promotion des capacités minières nationales se heurte à des obstacles liés aux longues procédures d'autorisation et à des préoccupations environnementales, à une capacité de raffinage insuffisante et à un manque de main-d'œuvre qualifiée et d'expertise. La nouvelle proposition de règlement sur les batteries³⁶ est un exemple d'initiative phare qui permettra à l'Europe de devenir un acteur de premier plan de l'économie circulaire des batteries, qui commence par l'exploitation minière durable et se termine par le recyclage.

La rareté des ressources telles que les terres et l'eau, que ce soit pour l'implantation du solaire, de l'éolien ou de la bioénergie, ou pour l'électrolyse de l'eau afin de produire de l'hydrogène renouvelable, pourrait entraver la poursuite du déploiement de technologies énergétiques propres au niveau souhaité dans l'UE. L'encouragement des utilisations multiples de l'espace, comme l'agrivoltaïsme (combinant agriculture et production solaire photovoltaïque), et la désignation, dans la planification de l'espace maritime, de sites consacrés à des activités simultanées comme la pêche et les énergies renouvelables en mer peut contribuer à surmonter ces entraves. Dans le même temps, la prise en compte de la

³² COM(2020) 474 final, *Résilience des matières premières critiques: la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité*.

³³ Fer, zinc ou platine.

³⁴ Commission européenne, direction générale de l'énergie: Guevara Opinska, L., Gérard, F., Hoogland, O., et al., *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis: final report*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002>

³⁵ KU Leuven, *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*, 2022.

³⁶ COM(2020) 798 final, [«Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil relatif aux batteries et aux déchets de batteries, abrogeant la directive 2006/66/CE et modifiant le règlement (UE) 2019/1020]

disponibilité de l'eau est essentielle pour les États membres lorsqu'ils conçoivent leur bouquet énergétique.

Une approche efficace de la dépendance de l'UE à l'égard des importations des matières premières nécessaires à la fabrication de technologies énergétiques propres sera primordiale pour garantir la compétitivité future du secteur (sur le plan des coûts, de la souveraineté technologique et de la résilience) et pour réaliser la double transition écologique et numérique. En 2020, la Commission a publié un plan d'action³⁷ visant à atténuer les risques liés à l'approvisionnement. Il s'agissait notamment d'actions visant à diversifier les sources d'approvisionnement en dehors de l'UE (par exemple, au moyen de partenariats stratégiques dans le domaine des matières premières), à promouvoir l'économie circulaire (par exemple, par l'écoconception, la R&I ou la cartographie de la disponibilité de matières premières critiques dans la mine urbaine ou les résidus urbains) et à exploiter le potentiel intérieur (par exemple au moyen de la technologie d'observation de la terre). Outre assurer l'approvisionnement, l'UE pourrait également devoir constituer des réserves stratégiques lorsque l'approvisionnement est menacé. La présidente de la Commission européenne a donc annoncé une loi européenne sur les matières premières critiques dans son discours sur l'état de l'Union du 14 septembre 2022.

2.1.2 Incidences de la COVID-19 et reprise

L'incidence économique mitigée de la COVID-19 a constitué une importante menace pour le secteur des énergies propres de l'UE en 2020-2021.

D'une part, avec un chiffre d'affaires de 163 milliards d'EUR en 2020 et une valeur ajoutée brute (VAB) de 70 milliards d'EUR, l'industrie des énergies renouvelables de l'UE a connu une croissance de 9 % et 8 % respectivement par rapport aux chiffres de 2019. Globalement, elle a généré environ quatre fois plus de valeur ajoutée par euro de chiffre d'affaires³⁸ que l'industrie des combustibles fossiles, et près de 70 % de plus que l'ensemble du secteur manufacturier de l'UE³⁹. Toutefois, ce ratio s'est légèrement détérioré en 2020, ce qui indique une augmentation des fuites (par exemple sous la forme d'importations).

En 2021, la production⁴⁰ de la plupart des technologies et solutions en matière d'énergies propres dans l'UE a largement augmenté, inversant la tendance observée en 2020. La production de batteries dans l'UE a connu une année exceptionnelle, avec une valeur de production qui a quadruplé par rapport aux valeurs de 2020 du fait de la mise en service de nouvelles capacités. La production d'énergie éolienne, solaire photovoltaïque et provenant des pompes à chaleur a augmenté de 30 % en 2021 (les pompes à chaleur ont enregistré une année record, l'énergie éolienne a rebondi pour revenir aux niveaux d'avant la pandémie et l'énergie solaire photovoltaïque a inversé la tendance à la baisse observée depuis 2011). La production de biocarburants, principalement de biodiesel, a progressé de 40 % et fortement augmenté dans tous les États membres, tandis que la production de bioénergie (par exemple,

³⁷ COM(2020) 474 final, Résilience des matières premières critiques: la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité.

³⁸ La valeur ajoutée brute de l'industrie des combustibles fossiles par euro de chiffre d'affaires est inférieure à 0,10 EUR (statistiques structurelles sur les entreprises d'Eurostat).

³⁹ Le ratio VAB/chiffre d'affaires de l'industrie manufacturière (NACE C) dans l'UE est d'environ 0,25 EUR (données Eurostat sbs_na_ind_r2).

⁴⁰ Il s'agit de la valeur de la production en termes monétaires (EUR).

granulés, résidus d'amidon et copeaux de bois) a augmenté de 5 %. La production d'hydrogène⁴¹ a augmenté de près de 50 %, les Pays-Bas ayant plus que doublé leur production en 2021.

La hausse simultanée des prix qui a débuté en 2021 peut néanmoins donner une image trop positive de la croissance de la production. En outre, certaines technologies ont connu une augmentation des importations pour répondre à la demande croissante dans l'UE. Par exemple, 2021 a été l'année qui a enregistré la plus forte augmentation du déficit commercial de l'UE pour les pompes à chaleur (390 millions d'EUR en 2021 contre 40 millions d'EUR en 2020, l'année 2020 étant la première année au cours de laquelle l'excédent commercial de l'UE s'est transformé en déficit), suivie par les biocarburants (2,3 milliards d'EUR en 2021; 1,4 milliard d'EUR en 2020) et les PV solaires (9,2 milliards d'EUR en 2021; 6,1 milliards d'EUR en 2020). Néanmoins, l'Union a maintenu une balance commerciale positive dans le domaine des technologies de l'énergie éolienne (2,6 milliards d'EUR en 2021; 2 milliards d'EUR en 2020) et dans celui de la technologie hydroélectrique, malgré une tendance à la baisse observée depuis 2015 (211 millions d'EUR en 2021; 232 millions d'EUR en 2020).

Les politiques de relance économique de l'UE, telles que la facilité pour la reprise et la résilience (FRR) dans le cadre de NextGenerationEU⁴², sont un moteur essentiel pour recentrer et renforcer les investissements dans le secteur des énergies propres. En octobre 2022, le Conseil a approuvé⁴³ la proposition de la Commission européenne⁴⁴ visant à ajouter un chapitre consacré à REPowerEU dans les plans pour la reprise et la résilience des États membres afin de financer des investissements et des réformes clés qui contribueront à la réalisation des objectifs de REPowerEU⁴⁵.

Jusqu'à présent, les réformes et les investissements proposés par les États membres dans leurs PRR ont dépassé les objectifs en matière de dépenses liées au climat et au numérique (au moins 37 % et 20 % respectivement des dépenses au titre des PRR)⁴⁶. Dans les 26⁴⁷ PRR approuvés par la Commission au 8 septembre 2022, des mesures représentant environ 200 milliards d'EUR étaient consacrées à la transition climatique et d'autres d'un montant de 128 milliards d'EUR à la transformation numérique,⁴⁸ soit respectivement 40 % et 26 % de l'enveloppe totale de ces États membres (subventions et prêts).

⁴¹ Il s'agit de l'ensemble de l'hydrogène, quel que soit le mode de production.

⁴² COM(2020) 456 final («L'heure de l'Europe: réparer les dommages et préparer l'avenir pour la prochaine génération»).

⁴³ <https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2022/10/04/repowereu-council-agrees-its-position/>

⁴⁴ COM(2022) 231 final, [«proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant le règlement (UE) 2021/241 en ce qui concerne les chapitres REPowerEU des plans pour la reprise et la résilience et modifiant le règlement (UE) 2021/1060, le règlement (UE) 2021/2115, la directive 2003/87/CE et la décision (UE) 2015/1814»].

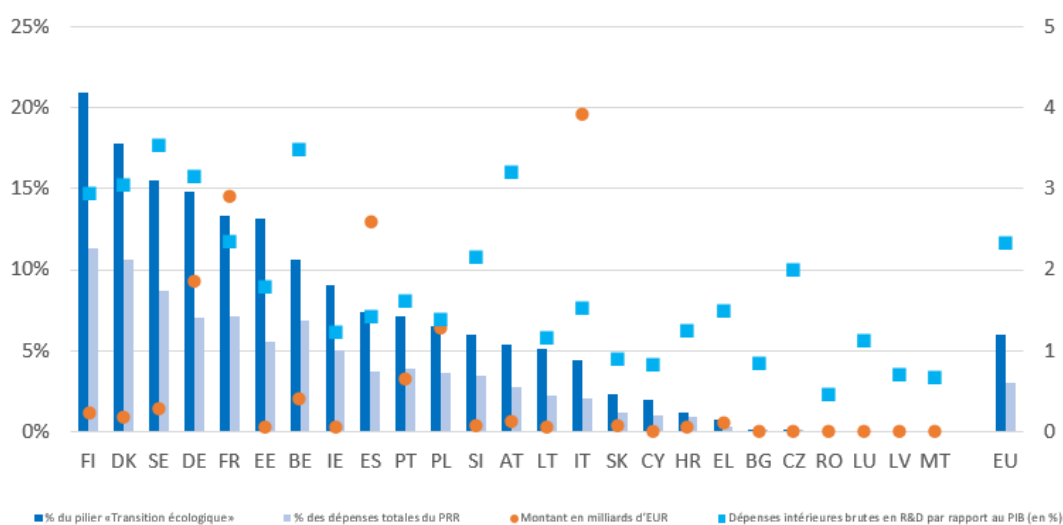
⁴⁵ La proposition prévoit des réaffectations budgétaires supplémentaires de l'UE afin de compléter les 225 milliards d'EUR encore disponibles de prêts au titre de la FRR et appelle à une augmentation des fonds pour la FRR. La Commission européenne a entamé des pourparlers bilatéraux avec les États membres afin de recenser les réformes et les investissements susceptibles de bénéficier d'un financement au titre des nouveaux chapitres de REPowerEU. Le financement de l'UE complète d'autres financements publics et privés disponibles, qui joueront un rôle clé dans la réalisation des investissements nécessaires à REPowerEU.

⁴⁶ Les progrès réalisés dans la mise en œuvre des PRR peuvent être suivis en direct sur le tableau de bord de la reprise et de la résilience, une plateforme en ligne mise en place par la Commission en décembre 2021.

⁴⁷ AT, BE, BG, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK.

⁴⁸ Les PRR devaient préciser et justifier dans quelles proportions chaque mesure contribue en tout (100 %) ou partie (40 %) aux objectifs climatiques et/ou numériques ou est sans incidence (0 %) sur ceux-ci. La contribution à l'objectif climatique a été calculée sur la base de l'annexe VI du règlement relatif à la FRR. La combinaison des coefficients avec

Figure 2: R&D&I au titre des activités vertes dans les PRR en pourcentage (axe de gauche) et en montant absolu (axe de droite). L'intensité de la R&D par rapport au PIB (axe de droite) est également indiquée à des fins de comparaison.



Source: JRC, sur la base des données de la DG ECFIN

Les 25 PRR approuvés par le Conseil le 8 septembre 2022 comprennent des mesures liées à la R&I pour un budget total de 47 milliards d'EUR⁴⁹ (y compris les investissements thématiques et horizontaux⁵⁰). De ce montant, 14,9 milliards d'EUR ont été alloués à des investissements dans la recherche, le développement et l'innovation (R&D&I) pour des activités vertes (Figure 2).

2.1.3 Capital humain et compétences

Les dernières données sur le **capital humain** à travers le monde montrent que, si le secteur des énergies propres a été résilient pendant la pandémie de COVID-19, les lacunes et les pénuries en matière de compétences se sont creusées en 2021 et devraient se poursuivre en 2022.

les estimations de coûts de chaque mesure permet de calculer dans quelle mesure les plans contribuent à l'objectif climatique.

⁴⁹ Ces chiffres sont basés sur la méthode du balisage des piliers dans le tableau de bord pour la reprise et la résilience et correspondent aux mesures allouées aux domaines d'action «R&D&I au titre des activités vertes», «Mesures liées au numérique dans la R&I» et «R&D&I» en tant que domaines d'action primaires ou secondaires. Le Conseil n'a pas encore adopté le PRR des Pays-Bas et, par conséquent, aucune donnée n'est encore disponible dans le cadre de la méthode du balisage des piliers. De plus amples informations sur le tableau de bord pour la reprise et la résilience sont disponibles à l'adresse suivante: https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/index.html?lang=fr

⁵⁰ Les investissements thématiques pour la R&I comprennent ceux qui ciblent la transition écologique, les technologies numériques et la santé, tandis que les investissements horizontaux pour la R&I incluent des mesures transversales qui, par exemple, renforcent les écosystèmes de l'innovation, améliorent les infrastructures de recherche et stimulent l'innovation dans les entreprises. De plus amples informations sur le tableau de bord pour la reprise et la résilience sont disponibles à l'adresse suivante: https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/index.html?lang=fr.

Le nombre d'emplois dans le secteur des énergies propres de l'UE pris dans son ensemble⁵¹ a atteint 1,8 million en 2019, avec une croissance annuelle moyenne de 3 % depuis 2015⁵², soit 1 % de l'emploi total dans l'UE. À titre de comparaison, les emplois dans toute l'économie ont augmenté en moyenne de 1 % par an⁵³, tandis que les emplois dans le secteur des énergies fossiles ont diminué de 2 % en moyenne au cours de la dernière décennie⁵⁴. La Chine se classait au premier rang mondial en 2020 (39 %), suivie de l'UE (11 %)⁵⁵ pour l'emploi mondial dans le secteur des énergies renouvelables, qui représentait un total de 12 millions d'emplois⁵⁶.

La composition des emplois dans le secteur des énergies propres de l'UE pris dans son ensemble a évolué à plusieurs égards⁵⁷. Le secteur des pompes à chaleur⁵⁸ dépasse les secteurs des biocarburants solides⁵⁹ et de l'énergie éolienne, en tant que principal employeur. Cette évolution s'explique principalement par l'augmentation de l'installation de pompes à chaleur. Cette tendance devrait se poursuivre avec le plan REPowerEU et les nouvelles offres de produits disponibles pour le secteur de la rénovation⁶⁰. En outre, le secteur des énergies propres est en moyenne 20 % plus productif que l'ensemble de l'économie. Depuis 2015, la productivité de la main-d'œuvre augmente plus rapidement dans le secteur des énergies propres (2,5 % par an) que dans l'ensemble de l'économie (1,8 % par an). Cette augmentation est due au secteur de l'électromobilité (5 % par an) et aux énergies renouvelables (4 % par an), avec des tendances différentes selon les technologies.

Toutefois, près de 30 % des entreprises de l'UE actives dans la fabrication d'équipements électriques⁶¹ ont connu des **pénuries de main-d'œuvre** en 2022, atteignant des niveaux encore plus élevés qu'en 2018. Ces pénuries sont principalement dues à la reprise économique globale après la pandémie, conjuguée à la lenteur du secteur des énergies propres à renforcer les capacités en matière de compétences requises par la transition écologique et

⁵¹ Les chiffres du secteur des énergies propres figurant dans le rapport se réfèrent à des données fondées sur l'EGSS d'Eurostat (catégories «CREMA13A», «CREMA13B» et «CEPA1»). La catégorie «CREMA13A» (production d'énergie à partir de sources renouvelables) comprend la fabrication des technologies nécessaires à la production d'énergies renouvelables. La catégorie «CREMA13B» (gestion et économies d'énergie/de chaleur) comprend les pompes à chaleur, les compteurs intelligents, les activités de rénovation énergétique, les matériaux d'isolation et les parties des réseaux intelligents. La catégorie CEPA1 (protection de l'air ambiant et du climat) comprend les voitures et autobus électriques et hybrides et autres véhicules plus propres et plus efficaces, ainsi que les infrastructures de recharge indispensables au fonctionnement des véhicules électriques (ce qui inclut également des composants tels que les batteries, les piles à combustible et les chaînes de traction électrique, essentiels pour les véhicules électriques).

⁵² Eurostat [env_ac_egss1].

⁵³ Eurostat [lfsi_emp_a].

⁵⁴ Eurostat [sbs_na_ind_r2].

⁵⁵ Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) et Organisation internationale du travail (OIT), *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, Abou Dhabi et Genève.

⁵⁶ Ce chiffre inclut les emplois directs et indirects.

⁵⁷ EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022. Ce chiffre inclut les pompes à chaleur.

⁵⁸ Les pompes à chaleur représentaient 24 % de l'ensemble des emplois dans les énergies renouvelables, tandis que les biocarburants solides et l'énergie éolienne contribuaient chacun à hauteur de 20 %. D'après: EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022.

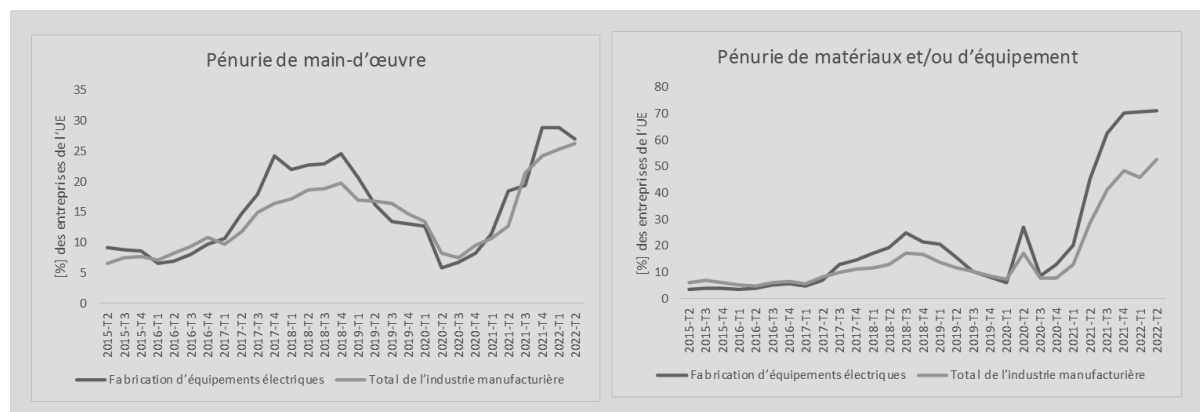
⁵⁹ Des révisions méthodologiques ont eu une incidence notamment sur les données relatives aux biocarburants, qui sont mises à jour sur la base des données des projets du projet ADVANCEFUEL au titre du programme Horizon 2020.

⁶⁰ European Heat Pump Association (EHPA). *European Heat Pump Market and Statistics Report 2021*, 2022.

⁶¹ Le code NACE «27 – Fabrication d'équipements électriques» est utilisé comme indicateur représentatif pour l'industrie manufacturière dans le domaine des énergies propres, étant donné que de nombreuses technologies énergétiques propres relèvent de cette catégorie. Il est également utilisé comme indicateur représentatif pour l'écosystème industriel des énergies renouvelables dans la stratégie industrielle de l'UE [COM(2020) 108 final et sa récente mise à jour COM(2021) 350 final].

numérique⁶². Plus de 70 % des entreprises de l'UE actives dans la fabrication d'équipements électriques étant confrontées à des pénuries de matériaux en 2022, ces tendances montrent le risque croissant de perturbations de la chaîne d'approvisionnement en énergie propre (Figure 3).

Figure 3: Pénuries de main-d'œuvre et de matériaux rencontrées par les fabricants d'équipements électriques de l'UE et par l'ensemble du secteur manufacturier de l'UE [%].



Source: JRC sur la base des données de l'enquête auprès des entreprises de la DG ECFIN⁶³

Le plan REPowerEU invite à redoubler d'efforts pour remédier aux pénuries de main-d'œuvre qualifiée dans différents segments des technologies énergétiques propres. À cette fin et en s'appuyant sur les activités existantes au sein de l'UE⁶⁴, le plan annonce un soutien aux compétences par l'intermédiaire d'Erasmus +⁶⁵ et de l'entreprise commune «Hydrogène propre»⁶⁶. La stratégie de l'UE en matière d'énergie solaire propose également des actions spécifiques⁶⁷. Le Forum industriel sur l'énergie propre de 2022 a adopté la déclaration commune sur les compétences⁶⁸, dans laquelle il s'engage à prendre des mesures concrètes pour remédier aux pénuries de main-d'œuvre qualifiée qui ont été observées⁶⁹. En 2022, le

⁶² La lenteur est due à diverses inadéquations au niveau des emplois (par exemple, spatiales, sectorielles, professionnelles ou temporelles). Le passage rapide à l'écologie et au numérique contraste avec le temps nécessaire pour renforcer les capacités en matière de compétences. Voir, par exemple:

- Czako, V., *Skills for the clean energy transition*, 2022 (à paraître).
- Asikainen, T., Bitat, A., Bol, E., Czako, V., Marmier, A., Muench, S., Murauskaite-Bull, I., Scapolo, F. et Stoermer, E., *The future of jobs is green*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2021, [doi:10.2760/218792](https://doi.org/10.2760/218792), [JRC126047](https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/126047);
- Cedefop (Centre européen pour le développement de la formation professionnelle), *Un allié dans la transition écologique – L'EFPP, et en particulier l'apprentissage professionnel, peut fournir les compétences nécessaires à l'écologisation des emplois et contribuer à les définir*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022 <http://data.europa.eu/doi/10.2801/712651>.

⁶³ Données de l'enquête auprès des chefs d'entreprise et des consommateurs [industry_sous-secteurs_q8_nace2]

⁶⁴ Par exemple, la stratégie européenne en matière de compétences à l'horizon 2020, son «pacte pour les compétences», une de ses initiatives phares, et ses partenariats avec les écosystèmes industriels, et le mécanisme pour une transition juste.

⁶⁵ Erasmus+ <https://www.erasmuskills.eu/eskills/>

⁶⁶ Clean Hydrogen Joint Undertaking, *Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027*, <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>.

⁶⁷ COM(2022) 221 final («Stratégie de l'UE pour l'énergie solaire»).

⁶⁸ Déclaration commune sur les compétences dans le secteur des énergies propres, publiée le 16 juin 2022. Disponible à l'adresse suivante: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-industrial-forum-underlines-importance-deploying-renewables-2022-jun-16_en.

⁶⁹ Par exemple, on estime que 800 000 travailleurs devront être formés pour travailler dans la chaîne de valeur des batteries afin d'atteindre les objectifs de REPowerEU. Environ 400 000 travailleurs devront être formés et leurs

Conseil a également adopté une recommandation invitant les États membres à adopter des mesures portant sur les aspects sociaux et liés à l'emploi des politiques en matière de climat, d'énergie et d'environnement⁷⁰. Le 12 octobre 2022, la Commission européenne a proposé que 2023 soit l'Année européenne des compétences afin de rendre l'UE plus attrayante pour les travailleurs qualifiés⁷¹.

Les déséquilibres entre les hommes et les femmes dans la main-d'œuvre du secteur de l'énergie et dans la recherche et l'innovation dans le domaine de l'énergie persistent, même si des données cohérentes et continues ventilées par sexe font largement défaut⁷². La sous-représentation des femmes dans la prise de décision des entreprises du secteur de l'énergie et dans l'enseignement supérieur dans les sous-domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM) se traduit par une part plus faible de demandes de brevets déposées par des inventrices (seulement 20 % dans toutes les classes de brevets en 2021⁷³ et un peu plus de 15 % pour les technologies d'atténuation du changement climatique⁷⁴), une part plus faible de jeunes entreprises créées ou cofondées par des femmes (moins de 15 % dans l'UE en 2021⁷⁵) et des montants de capital plus faibles investis dans les entreprises dirigées par des femmes (seulement 2 % dans les jeunes pousses exclusivement féminines et 9 % dans les équipes mixtes dans l'UE en 2021⁷⁶).

L'UE intensifie ses efforts pour garantir un écosystème équilibré et équitable. Parmi les initiatives figurent la stratégie en faveur de l'égalité entre les hommes et les femmes pour la période 2020-2025⁷⁷, l'initiative Women TechEU lancée en 2022⁷⁸, le nouveau critère d'éligibilité inclus dans le programme Horizon Europe⁷⁹ et les mesures ciblées concrètes du nouveau programme d'innovation de 2022⁸⁰. Comblar l'écart entre les hommes et les femmes contribuera non seulement à relever les défis de l'UE en matière d'emploi et de compétences afin de réaliser la double transition écologique et numérique, mais aussi à soutenir l'inclusion des femmes dans ces domaines d'activité et, partant, à relever les défis de société.

compétences mises à niveau dans la chaîne de valeur des pompes à chaleur, sans tenir compte des experts travaillant actuellement dans le domaine des pompes à chaleur et qui partiront à la retraite dans les prochaines années (voir note de bas de page 69).

⁷⁰ 2022/C 243/04, Recommandation du conseil visant à assurer une transition équitable vers la neutralité climatique.

⁷¹ COM(2022) 526 final.

⁷² COM(2020) 953 final et COM(2021) 952 final («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

⁷³ Pour les inventions dont au moins un inventeur est basé en Europe. Chiffres fondés sur Office européen des brevets, 2022.

⁷⁴ Agence internationale de l'énergie, <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>.

⁷⁵ Agence exécutive pour le Conseil européen de l'innovation et les PME (EISMEA), 2022.

⁷⁶ IDC European Women in Venture Capital report, 2022.

⁷⁷ Commission européenne, Stratégie en faveur de l'égalité entre les femmes et les hommes.

⁷⁸ Agence exécutive pour le Conseil européen de l'innovation et les PME (EISMEA) 2022. https://eisma.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu_en.

⁷⁹ Horizon Europe dispose d'un nouveau critère d'éligibilité selon lequel les organismes de recherche qui demandent un financement doivent disposer d'un plan d'action en faveur de l'égalité entre les hommes et les femmes, l'objectif étant de parvenir à un équilibre entre les hommes et les femmes de 50 % dans tous les organes décisionnels et évaluateurs liés à Horizon Europe. Pour plus d'informations, voir: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe.

⁸⁰ COM(2022) 332 final «Un nouveau programme européen d'innovation».

2.2 Tendances en matière de recherche et d'innovation

L'instabilité environnementale, géopolitique, économique et sociale croissante dans le monde exige une politique souple de l'UE en matière de R&I, capable de réagir efficacement à une situation de crise tout en assurant la mise en œuvre du pacte vert pour l'Europe.

La politique de R&I de l'UE façonne l'orientation de l'innovation et le portefeuille de technologies énergétiques propres. Le plus grand programme de R&I au monde, Horizon Europe (doté d'un budget de 95,5 milliards d'EUR consacré à la R&I pour la période 2021-2027) et d'autres programmes de financement de l'UE (par exemple, le Fonds pour l'innovation et le financement de la politique de cohésion) visent à renforcer l'écosystème de la R&I de l'UE et à contribuer à la réalisation des objectifs stratégiques de l'UE⁸¹. Associées à des efforts conjoints et coordonnés entre les États membres [notamment dans le cadre du plan stratégique pour les technologies énergétiques (plan SET)]⁸², les activités de R&I renforcent la résilience du secteur des énergies propres de l'UE.

La plupart des États membres de l'UE ont augmenté leurs investissements publics en matière de R&I consacrés aux priorités de l'union de l'énergie en 2020^{83,84}, avec plus de 4 milliards d'EUR déclarés à ce jour. Les chiffres totaux définitifs pour 2020 devraient être comparables aux valeurs d'avant la crise financière en termes absolus. Néanmoins, lorsqu'ils sont mesurés en proportion du produit intérieur brut (PIB), les investissements dans la R&I publique, aux niveaux national et de l'UE, restent inférieurs aux niveaux de 2014(**Error! Reference source not found.**).

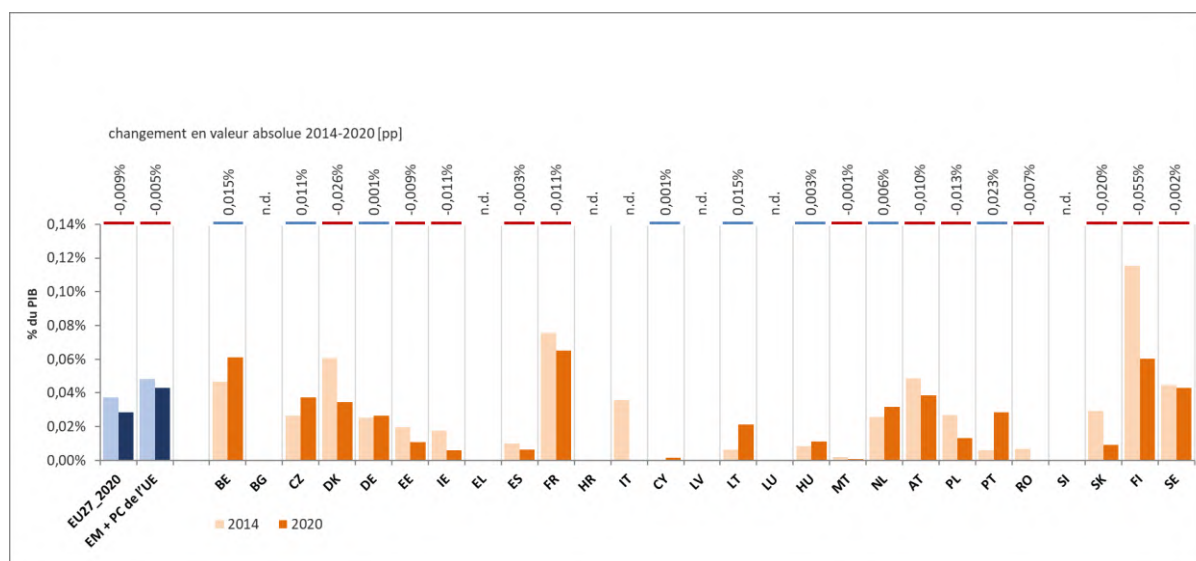
⁸¹ Commission européenne, direction générale de la recherche et de l'innovation, Science, Research and innovation *Performance of the EU report 2022*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022.

⁸² Le plan SET est le principal instrument de l'UE permettant d'aligner les politiques et le financement en matière de R&I dans le secteur des technologies énergétiques propres au niveau de l'Union et des États membres et de mobiliser les investissements privés. Pour en savoir plus: https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en.

⁸³ Énergies renouvelables; systèmes énergétiques intelligents; systèmes d'efficacité énergétique; transport durable; captage, utilisation et stockage du carbone (CCUS); sûreté nucléaire, COM(2015) 80 final (paquet «Union de l'énergie»).

⁸⁴ JRC, système d'information en ligne sur le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (SETIS) https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

Figure 4: Investissements publics en matière de R&I dans les États membres de l'UE en pourcentage du PIB depuis le lancement du programme Horizon 2020⁸⁵.



Source: JRC, à partir de données de l'AIE⁸⁶ et de données propres⁸⁷.

En 2020, les fonds d'Horizon 2020 en faveur des priorités de l'union de l'énergie en matière de R&I ont complété à hauteur de 2 milliards d'EUR les contributions des programmes nationaux des États membres. Si, à elles seules, les contributions nationales restent faibles parmi les grandes économies, avec l'inclusion des fonds au titre d'Horizon 2020, l'UE se classait en deuxième position parmi les principales économies en matière d'investissements publics dans la R&I en 2020 (Figure 5)⁸⁸, tant en termes absolus (6,6 milliards d'EUR, les États-Unis étant en tête avec 8 milliards d'EUR) qu'en pourcentage du PIB (0,046 %, le Japon étant en tête avec 0,058 %, mais juste devant les États-Unis et la Corée du Sud⁸⁹).

Selon des évaluations mondiales, le secteur des entreprises investit en moyenne au moins trois fois plus dans la R&I pour les énergies propres que le secteur public⁹⁰. Les investissements des entreprises de l'UE représentent 80 % des dépenses de R&I dans les priorités de l'union de l'énergie en matière de R&I. En 2019, les investissements privés dans la R&I dans l'UE étaient estimés à 0,17 % du PIB (Figure 5) et à 11 % du total des dépenses de R&D du secteur commercial et des entreprises. Les estimations pour l'UE montrent que les investissements en termes absolus (entre 18 et 22 milliards d'EUR par an) sont comparables à ceux des États-Unis et du Japon depuis 2014. Toutefois, en pourcentage du PIB, bien que les investissements de l'UE soient supérieurs à ceux des États-Unis, l'UE reste

⁸⁵ «PC de l'UE» désigne le programme-cadre de l'UE; et «n.d.» désigne les pays qui n'ont fourni aucune donnée.

⁸⁶ Adaptées de l'édition 2022 de la base de données de l'AIE relative aux budgets de RD & D en technologies énergétiques.

⁸⁷ JRC, système d'information en ligne sur le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (SETIS) https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

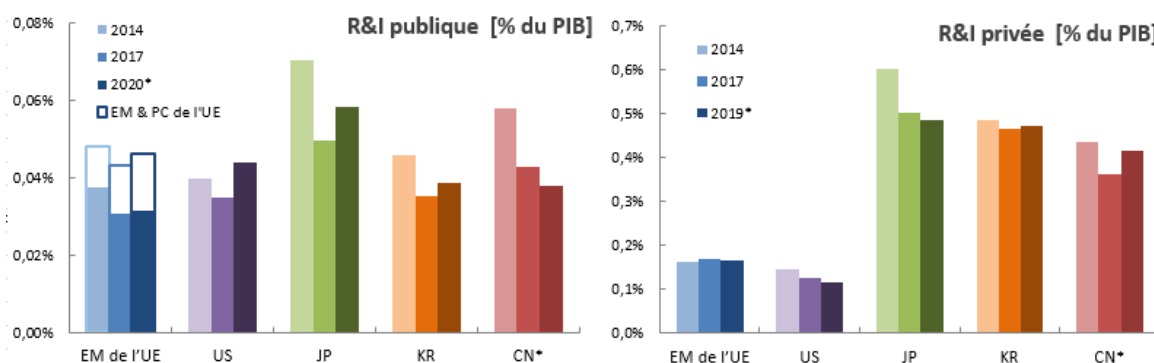
⁸⁸ Le graphique superpose les deux premières catégories de la figure 4 pour l'UE. Les valeurs des deux chiffres sont légèrement différentes, étant donné que le chiffre pour l'Italie en Figure 5 est une estimation.

⁸⁹ Ces chiffres incluent les fonds des États membres et du programme-cadre de l'UE. Le rapport de l'année dernière ne faisait référence qu'aux fonds des États membres, qui sont également présentés dans la figure 5 et restent inférieurs aux fonds des autres grandes économies en pourcentage du PIB.

⁹⁰ AIE, *Tracking clean energy innovation – A framework for using indicators to inform policy*, 2020.

à un niveau inférieur aux autres grandes économies concurrentes (Japon, Corée du Sud et Chine).

Figure 5: Financement public et privé en matière de R&I consacré aux priorités de l'union de l'énergie, en pourcentage du PIB, dans les grandes économies



Source: JRC, à partir de données de l'AIE⁹¹, de données de Mission Innovation⁹² et de propres données.

Depuis 2014, la moitié des États membres de l'UE ont intensifié leur **activité de dépôt de brevets** conformément aux priorités de l'union de l'énergie en matière de R&I, les champions de l'innovation verte tels que l'Allemagne et le Danemark réalisant de bons résultats, tant en chiffres absolus que dans la part des brevets verts dans leur portefeuille global d'innovation. L'UE est restée le premier demandeur mondial de brevets dans les domaines du climat et de l'environnement (23 %), de l'énergie (22 %) et des transports (28 %).

Au niveau mondial, les **publications scientifiques** traitant des technologies énergétiques à faible intensité de carbone ont été un peu moins nombreuses en 2020 qu'au cours de la période 2016-2019. Dans l'UE, ce nombre a augmenté plus modestement au cours de la période 2016-2019 (par rapport à la moyenne mondiale) et a diminué plus fortement en 2020. L'UE a contribué à un peu plus de 16 % des articles scientifiques dans le monde, mais elle a continué à produire plus de deux fois plus de publications par habitant que la moyenne mondiale⁹³.

Cette tendance est principalement due au nombre croissant de publications scientifiques dans d'autres domaines et au fait que les économies à revenu élevé ne semblent plus dominantes dans les domaines liés aux énergies propres et à l'innovation⁹⁴. L'UE jouait un rôle de premier plan dans la recherche sur l'énergie il y a dix ans, mais l'amélioration considérable de la quantité et de la qualité de la production chinoise dans le domaine de la recherche énergétique a fait reculer l'UE en deuxième position. Les chercheurs chinois sont en tête en ce qui concerne les publications les plus citées dans le domaine de l'énergie (avec une part de

⁹¹ Adaptées de l'édition 2022 de la base de données de l'AIE relative aux budgets de RD & D en technologies énergétiques.

⁹² Mission Innovation Country Highlights, 6^e réunion ministérielle de l'initiative MI, 2021, http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI_2021v0527.pdf.

⁹³ Commission européenne, direction générale de la recherche et de l'innovation, Provençal, S., Khayat, P., Campbell, D., *Publications as a measure of innovation performance in the clean energy sector: assessment of bibliometric indicators*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022.

⁹⁴ Schneegans S., Straza, T., et Lewis, J. (éditeurs), *Rapport scientifique de l'UNESCO: the Race Against Time for Smarter Development*, publication de l'UNESCO, Paris, 2021.

39 %) ⁹⁵. Néanmoins, les scientifiques de l'UE collaborent et publient au niveau international sur les questions relatives aux énergies propres, à un niveau bien supérieur à la moyenne mondiale, et on note un degré de collaboration plus élevé entre les secteurs public et privé dans l'UE. Le programme-cadre pour la recherche et l'innovation «Horizon 2020», le Fonds européen de développement régional et le septième programme-cadre pour la R&I ont été classés parmi les 20 premiers programmes de financement reconnus au niveau mondial en faveur de la science dans le domaine des énergies propres au cours de la période 2016-2020 ⁹⁶.

La nécessité d'améliorer le suivi des activités de R&I publiques et privées dans le domaine des énergies propres et l'évaluation quantitative de la compétitivité a été soulignée dans la dernière édition du rapport ⁹⁷ et a encore gagné en importance depuis lors. Le réexamen du plan SET et la mise à jour prévue des plans nationaux en matière d'énergie et de climat (PNEC) ⁹⁸, annoncée pour juin 2024 ⁹⁹, créent ensemble l'élan nécessaire pour renforcer le dialogue sur la R&I dans le domaine des énergies propres et la compétitivité entre l'UE et ses États membres.

2.3 Le paysage mondial concurrentiel des énergies propres

Au niveau mondial, l'engagement urgent en faveur de l'accélération de la transition énergétique a conduit au développement de nombreuses solutions énergétiques propres, allant de technologies de niche à une industrie mondiale et à des chaînes de valeur internationales. Selon les estimations, les marchés mondiaux représenteront une valeur de 24 000 milliards d'EUR pour les énergies renouvelables et de 33 000 milliards d'EUR pour l'efficacité énergétique d'ici 2050 ¹⁰⁰.

Le rôle moteur joué par l'UE dans le domaine de la science, sa base industrielle solide et ses conditions-cadres ambitieuses en matière d'énergies propres constituent une bonne base technologique pour le développement attendu du marché de plusieurs technologies énergétiques propres. Depuis 2014, l'UE a conservé sa bonne position en matière de **brevets protégés au niveau international**, confirmant ainsi la tendance mise en évidence dans le rapport de l'année dernière ¹⁰¹. L'UE conserve sa deuxième place derrière le Japon en ce qui concerne les inventions de haute valeur ¹⁰², elle est première dans le domaine des énergies renouvelables et partage la tête du classement avec le Japon pour ce qui est de l'efficacité énergétique, principalement grâce à la spécialisation de l'UE dans les matériaux et les

⁹⁵ Commission européenne, direction générale de la recherche et de l'innovation, Science, Research and innovation *Performance of the EU report 2022*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022.

⁹⁶ Elsevier, *Pathways to Net Zero: The Impact of Clean Energy Research*, 2021. Disponible à l'adresse suivante: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf. Les publications sont considérées comme des recherches sur la consommation énergétique nette nulle si elles font progresser les connaissances sur la recherche et l'innovation dans le domaine des énergies propres et sur la voie vers un avenir neutre pour le climat. Les données proviennent de la base de données Scopus.

⁹⁷ COM(2021) 952 final et SWD(2021) 307 final («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

⁹⁸ Pour de plus amples informations sur les PNEC: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en.

⁹⁹ JO L 328 du 21.12.2018. Le règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat prévoit la révision régulière des PNEC afin de les aligner sur les dernières évolutions des politiques. Les projets de PNEC sont attendus d'ici juin 2023.

¹⁰⁰ IRENA, *Global energy transformation: a roadmap to 2050*, Abou Dhabi, 2019.

¹⁰¹ COM(2021) 952 final («Progrès réalisés en matière de compétitivité des technologies énergétiques propres»).

¹⁰² Les familles de brevets (inventions) de haute valeur sont celles qui comportent des demandes adressées à plus d'un office de brevets (c'est-à-dire qui visent à obtenir une protection dans plusieurs pays ou sur plusieurs marchés).

technologies pour les bâtiments. Les données relatives aux brevets de l'Union montrent également son rôle prépondérant dans le domaine des carburants renouvelables, des batteries et de l'électromobilité, ainsi que des technologies de captage, de stockage et d'utilisation du carbone.

La plupart des nouveaux investissements dans les technologies énergétiques propres devraient avoir lieu en dehors de l'UE et les matières premières nécessaires font l'objet d'échanges internationaux¹⁰³. La forte présence et les performances de l'UE dans les chaînes de valeur mondiales, ainsi que son accès aux marchés des pays tiers, sont dès lors essentielles. Le nombre croissant de mesures prises par les gouvernements des pays tiers (introduction d'obstacles à l'accès au marché, d'exigences en matière de contenu local et d'autres mesures ou pratiques discriminatoires) peut néanmoins fausser **la dynamique du commerce international et de l'investissement**. Ces mesures peuvent avoir une incidence négative sur l'emploi, la croissance et l'assiette fiscale de l'UE, et réduire les avantages que l'UE retirerait normalement de son rôle de précurseur dans ce domaine. Elles créent également un risque clair de «contamination», car elles peuvent inciter d'autres pays tiers à prendre des mesures similaires qui créent des inefficacités dans les chaînes d'approvisionnement internationales et, à plus long terme, influencent les motivations à investir dans le secteur. Il en résulterait une hausse des coûts de la transition dans son ensemble et un affaiblissement possible de l'engagement constant du grand public en faveur de la décarbonation mondiale.

Les inquiétudes subsistent et grandissent dans le monde entier quant à l'incidence de la domination technologique soutenue par les États et les subventions, aux marchés fermés, aux différentes règles en matière de protection de la propriété intellectuelle (PI) et aux politiques d'innovation et de compétitivité dans le secteur, en particulier celles mises en œuvre par la Chine, ainsi que par d'autres pays tiers. La crise géopolitique actuelle a également affecté la concurrence sur le marché mondial des énergies propres, et il reste à voir comment les nouvelles mesures nationales visant à accélérer le déploiement national de technologies énergétiques propres (par exemple, la loi américaine sur la réduction de l'inflation¹⁰⁴) pourraient avoir une incidence négative sur le paysage mondial concurrentiel dans ce domaine.

Dans ce contexte, **la coopération internationale en matière de R&I** permettra non seulement d'accélérer encore la transition vers une énergie propre, mais aussi de compenser les perturbations du marché mondial de l'énergie. Les programmes et politiques de l'UE, tels qu'Horizon Europe et Erasmus+, ont toujours soutenu la coopération en matière de R&I avec des partenaires mondiaux de confiance. La communication de la Commission intitulée «L'approche mondiale de la recherche et de l'innovation»¹⁰⁵ fournit un cadre amélioré pour le développement de la coopération internationale. La communication de la Commission intitulée «Stratégie énergétique extérieure de l'UE dans un monde en mutation»¹⁰⁶ envisage l'intensification de cette coopération et le développement de partenariats pour soutenir la transition écologique sur des sujets majeurs tels que l'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone, l'accès aux matières premières et l'innovation. En outre, la

¹⁰³ Agence internationale de l'énergie, *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.

¹⁰⁴ [FICHE D'INFORMATION: The Inflation Reduction Act Supports Workers and Families | The White House](#)

¹⁰⁵ COM(2021) 252 final («La stratégie de coopération internationale de l'Europe dans un monde en mutation»).

¹⁰⁶ JOIN(2022) 23 final («Stratégie énergétique extérieure de l'UE dans un monde en mutation»).

communication de la Commission intitulée «Un nouvel EER pour la recherche et l'innovation»¹⁰⁷ appelle à la mise à jour et au développement des principes directeurs pour la valorisation des connaissances. Un code de bonnes pratiques pour l'utilisation intelligente de la PI devrait voir le jour d'ici la fin de 2022¹⁰⁸. La Commission contribue à faire progresser la coopération internationale en matière d'innovation et de technologie énergétiques en continuant à participer à l'initiative Mission Innovation¹⁰⁹ et à la conférence ministérielle sur l'énergie propre. En outre, la nouvelle stratégie de connectivité mondiale de l'UE, la stratégie «Global Gateway»¹¹⁰, la communication de la Commission intitulée «Réexamen de la politique commerciale»¹¹¹ et le partenariat international pour une transition énergétique juste avec l'Afrique du Sud¹¹² soulignent l'importance d'approfondir la coopération internationale et les relations commerciales afin de tirer parti de la compétitivité des technologies énergétiques propres en synergie avec l'ouverture et l'attractivité du marché unique de l'UE.

La coopération internationale en matière de recherche, le transfert de technologies, la politique commerciale et la diplomatie énergétique devront travailler ensemble pour garantir l'absence de distorsions dans les échanges commerciaux et les investissements concernant les technologies, les services et les matières premières nécessaires à la transition, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'UE. L'UE devra également continuer à exploiter son potentiel pour intensifier l'innovation afin d'éviter le risque d'accroître sa dépendance à l'égard d'autres grandes économies pour les technologies importées nécessaires à la transition énergétique et à la nouvelle architecture du système énergétique.

2.4 Le paysage du financement de l'innovation dans l'Union¹¹³

Les solutions technologiques climatiques¹¹⁴ favorisent la compétitivité et la souveraineté technologique de l'UE. Parallèlement à l'adoption de technologies de production plus matures, elles joueront un rôle essentiel pour parvenir à la neutralité carbone d'ici à 2050¹¹⁵.

¹⁰⁷ COM(2020) 628 final («Un nouvel EER pour la recherche et l'innovation»).

¹⁰⁸ Un nouveau guide sur la valorisation des résultats d'Horizon Europe est déjà disponible à l'adresse suivante: <https://data.europa.eu/doi/10.2826/437645>.

¹⁰⁹ <http://mission-innovation.net/>. Après cinq premières années de réussite, l'initiative MI 2.0 a été lancée avec une nouvelle série de «missions».

¹¹⁰ JOIN(2021) 30 final («La stratégie «Global Gateway»»), communication conjointe de la Commission européenne et du haut représentant de l'Union pour les affaires étrangères et la politique de sécurité au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen, au Comité des régions et à la Banque européenne d'investissement.

¹¹¹ COM(2021) 66 final («Réexamen de la politique commerciale – Une politique commerciale ouverte, durable et ferme»).

¹¹² Partenariat pour une transition énergétique juste avec l'Afrique du Sud (europa.eu).

¹¹³ L'analyse présentée dans cette section se fonde sur les données de Pitchbook. PitchBook recense actuellement plus de 2 750 sociétés de capital-risque dans son secteur «technologies climatiques» (contre plus de 2 250 au moment de la publication de l'édition 2021 du rapport CPR). Les chiffres relatifs aux investissements historiques en capital et en capital-risque figurant dans les rapports CPR 2020 et 2021 ne sont donc pas directement comparables.

¹¹⁴ Le secteur «Climate tech» de PitchBook est une sélection de 2 760 entreprises qui mettent au point des technologies destinées à atténuer les effets du changement climatique ou à s'y adapter. La plupart des entreprises de ce secteur se concentrent sur l'atténuation de l'augmentation des émissions au moyen de technologies et de processus de décarbonation. Les applications au sein de cet axe sectoriel comprennent la production d'énergie renouvelable, le stockage longue durée de l'énergie; l'électrification des transports; les innovations agricoles, les améliorations des processus industriels et les technologies minières.

¹¹⁵ La section a été élaborée en étroite collaboration avec l'Observatoire des technologies énergétiques propres (CETO) de la Commission européenne: Georgakaki, A. et al, Clean Energy Technology Observatory Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report, Commission européenne, 2022, JRC131001.

Au cours des six dernières années, le domaine des technologies climatiques de l'UE a attiré un volume croissant d'investissements en capital-risque¹¹⁶ à la pointe de l'innovation. Étant donné que les technologies climatiques nécessitent de longs délais avant d'arriver à maturité, il existe un besoin crucial d'importants capitaux tout au long du cycle de financement des jeunes entreprises, d'investissements dans la R&I¹¹⁷ et de mesures des pouvoirs publics pour réduire les risques liés au développement de solutions technologiques climatiques afin d'encourager davantage la participation du secteur privé.

Au niveau mondial, les investissements en capital-risque dans le **domaine du climat** ont fait preuve d'une résilience impressionnante face à la pandémie, avec des niveaux d'investissement déjà plus élevés en 2020 (20,2 milliards d'EUR) et de nouveaux records historiques en 2021 (40,5 milliards d'EUR, soit une augmentation de 100 % par rapport à 2020¹¹⁸). Dans ce contexte, les jeunes entreprises et les entreprises en expansion de l'Union spécialisées dans le secteur des technologies climatiques ont attiré 6,2 milliards d'EUR d'investissements en capital-risque en 2021, soit plus du double du niveau de 2020¹¹⁹. Ce chiffre représente 15,4 % des investissements mondiaux en capital-risque dans les technologies climatiques. L'année 2021 a été la première année où les investissements de stade ultérieur dans les technologies climatiques de l'UE ont été supérieurs à ceux de la Chine¹²⁰. Toutefois, si les investissements de démarrage ont connu de nouveaux records aux États-Unis et en Chine en 2021, ils ont atteint leur point culminant dans l'UE (Figure 6).

¹¹⁶ Les opérations de capital-risque sont définies comme des opérations de démarrage (y compris préamorçage, accélérateur/incubateur, investisseur privé, amorçage, séries A et B intervenant dans les cinq ans suivant la date de création de l'entreprise) et des opérations de stade ultérieur (généralement de série B à série Z+ et/ou qui ont lieu plus de cinq ans après la date de création de l'entreprise, les séries non divulguées et la croissance/expansion du capital-investissement).

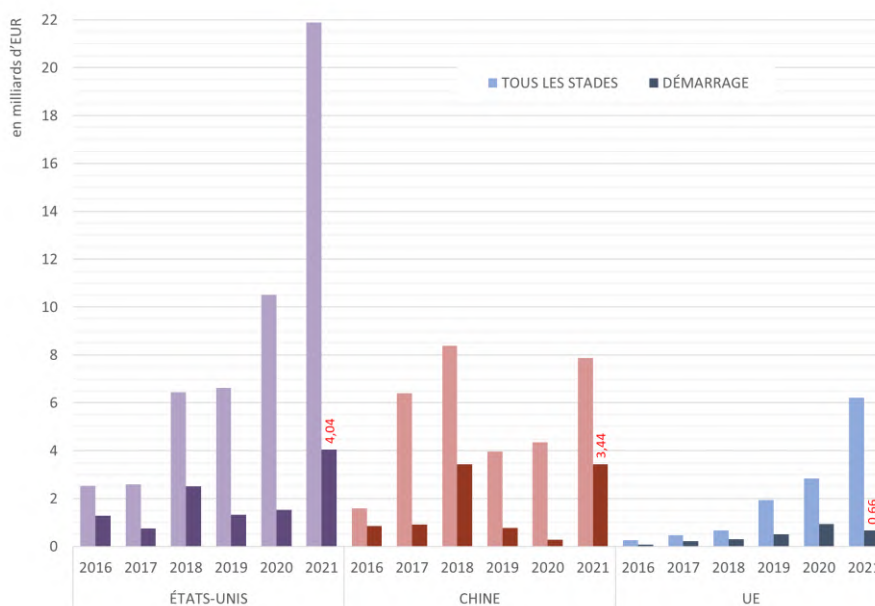
¹¹⁷ Donnant naissance à la notion de jeunes entreprises actives dans le secteur des technologies «deep green» (à savoir de jeunes entreprises qui utilisent des technologies de pointe axées sur la résolution des problèmes environnementaux, telles que la production de batteries écologiques et les avions électriques). Les technologies «deep green» se situent à l'intersection de technologies climatiques et de la «deep tech» (la «deep tech» étant définie comme l'application des découvertes scientifiques en ingénierie, en mathématiques, en physique et en médecine. Elles se caractérisent par de longs cycles de R&D et des modèles commerciaux non testés).

¹¹⁸ Cela représente 5,2 % du total du financement en capital-risque en 2021, selon les calculs du JRC fondé sur les données de PitchBook (4,6 % en 2020).

¹¹⁹ COM(2021) 952 final («Rapport sur les progrès accomplis dans la compétitivité énergies propres»).

¹²⁰ Les investissements dans Northvolt, développeur suédois de batteries de véhicules électriques, ont à eux seuls une incidence importante sur les tendances globales en matière d'investissement en capital-risque dans les entreprises de l'UE spécialisées dans les technologies climatiques au cours des dernières années. Au fur et à mesure de la transition de l'entreprise vers les stades d'investissement ultérieurs, les investissements de démarrage dans les entreprises de l'UE spécialisées dans les technologies climatiques ont diminué en 2021, tandis que les investissements de stade ultérieur ont augmenté pour atteindre pour la première fois une valeur supérieure à celle déclarée en Chine.

Figure 6: Investissements en capital-risque dans les jeunes entreprises et les entreprises en expansion spécialisées dans les technologies climatiques



Source: graphique élaboré par le JRC à partir de données de Pitchbook de 2021.

Le **domaine de l'énergie** représentait 22 % des investissements mondiaux en matière de capital-risque dans le domaine des technologies climatiques en 2021 (la production d'énergies propres¹²¹ et les technologies de réseau¹²² représentaient respectivement 13,2 % et 8,7 %). Avec des niveaux presque quatre fois plus élevés (3,8 fois) qu'en 2020¹²³, le domaine de l'énergie accuse un retard par rapport au domaine de la mobilité et des transports (46 %), mais a dépassé pour la première fois le domaine de l'alimentation et de l'utilisation des sols (19,6 %).

Dans l'UE, les investissements en capital-risque dans les entreprises du secteur de l'énergie ont confirmé la croissance soutenue observée au cours des quatre dernières années (+ 60 % par rapport à 2020). Malgré ces bons résultats, la part relative des investissements en capital-risque de l'UE dans l'énergie a diminué de moitié en 2021. Avec 10 % des investissements en capital-risque dans les entreprises énergétiques, l'UE se classe au troisième rang, loin derrière les États-Unis (62 %) et la Chine (13,3 %), qui affichaient tous deux des niveaux d'investissement remarquables en 2021 sous l'effet de plans très ambitieux en faveur de la production d'énergies propres.

¹²¹ Qui incluent les énergies solaire, éolienne, nucléaire, la revalorisation des déchets en énergie, les énergies marine, hydraulique et géothermique.

¹²² Qui incluent le stockage d'énergie de longue durée, la gestion du réseau, l'analyse, la technologie des batteries, les réseaux intelligents et la production d'hydrogène propre.

¹²³ Les investissements dans les technologies de production d'énergies propres sont le principal moteur de cette croissance. Stimulée par d'importants investissements dans la fusion nucléaire aux États-Unis et dans l'éolien en Chine, elle a augmenté 2,4 fois plus vite que les investissements dans les technologies de réseau et les investissements en capital-risque dans le domaine des technologies climatiques en général.

Malgré la dynamique positive du financement du capital-risque dans l'UE et l'attrait des entreprises spécialisées dans les technologies climatiques établies dans l'UE auprès des investisseurs en capital-risque, les obstacles structurels et les défis de société¹²⁴ continuent de freiner les entreprises en expansion spécialisées dans les technologies climatiques établies de l'UE par rapport à celles d'autres grandes économies. La taxonomie des activités durables de l'Union fournit néanmoins un cadre visant à favoriser les investissements durables et définit les activités économiques durables sur le plan environnemental. En outre, la politique de l'UE en matière d'innovation s'est enrichie au fil des années et le paysage institutionnel a évolué avec elle¹²⁵.

Le troisième pilier d'Horizon Europe, «Une Europe innovante», a fourni des outils pour soutenir les jeunes entreprises, les entreprises en expansion et les petites et moyennes entreprises (PME). Dans ce contexte, le Conseil européen de l'innovation (CEI), doté d'un budget de 10,1 milliards d'EUR entre 2021 et 2027, est le programme phare de l'UE pour l'innovation visant à recenser, développer et déployer à plus grande échelle les technologies de pointe et les innovations révolutionnaires. Le programme «Horizon Europe» soutient également l'initiative «Écosystèmes européens d'innovation» et l'Institut européen d'innovation et de technologie (EIT). EIT InnoEnergy a construit le plus grand écosystème d'innovation énergétique durable au monde et est également le fer de lance de la transition vers une Union décarbonée d'ici à 2050 grâce au rôle de chef de file de trois chaînes de valeur industrielles (l'alliance européenne pour les batteries, le Centre européen pour l'accélération de l'hydrogène vert et l'initiative solaire européenne).

En ce qui concerne les **programmes de financement de l'UE**, le Fonds pour l'innovation est l'un des plus importants au monde¹²⁶ en ce qui concerne la démonstration de technologies propres innovantes et leur déploiement à l'échelle industrielle. Le programme InvestEU est un élément important du plan de relance de l'UE, favorisant l'accès au financement et sa disponibilité, pour les PME, les entreprises à capitalisation moyenne et les autres entreprises. La politique de cohésion fournit des investissements à grande échelle et à long terme, en particulier pour les PME, dans l'innovation et les chaînes de valeur industrielles afin de stimuler le développement de technologies et de modèles d'entreprise renouvelables et à faibles émissions de carbone. En outre, la Banque européenne d'investissement (BEI) et le Fonds européen d'investissement (FEI) soutiennent efficacement le développement des entreprises à fort contenu technologique (deep tech) dont l'UE a besoin pour atteindre ses objectifs de durabilité. D'autres programmes de financement, tels que le Fonds pour la modernisation et la proposition de Fonds social pour le climat¹²⁷, visent à orienter les recettes des politiques liées au climat à l'appui de la transition énergétique.

Ces programmes et d'autres initiatives de l'UE, telles que l'union des marchés des capitaux (UMC)¹²⁸, visent à mobiliser davantage les investisseurs privés dans le financement des technologies climatiques et des jeunes entreprises à fort contenu technologique dans le

¹²⁴ COM(2020) 953 final «Rapport sur les progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres» et COM(2022) 332 final «Un nouveau programme européen d'innovation».

¹²⁵ COM(2022) 332 final «Un nouveau programme européen d'innovation».

¹²⁶ 38 milliards d'EUR de soutien entre 2020 et 2030, dans l'hypothèse d'un prix du carbone de 75 EUR/tCO₂.

¹²⁷ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund_en

¹²⁸ https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union_en

domaine du climat¹²⁹. Par exemple, le partenariat pionnier entre la Commission européenne et Breakthrough Energy Catalyst¹³⁰ est un autre exemple de la manière de stimuler les investissements dans les technologies climatiques critiques en rassemblant les secteurs public et privé.

La création de synergies entre les programmes et les instruments de l'UE et le renforcement de la cohésion entre les écosystèmes d'innovation locaux de l'UE peuvent aider l'UE à devenir un acteur mondial de premier plan dans le domaine des technologies climatiques, comblant ainsi l'écart de croissance entre l'UE et d'autres grandes économies en tirant parti de sa diversité de talents, de ses atouts intellectuels et de ses capacités industrielles. Le tableau de bord européen de l'innovation 2022¹³¹ souligne l'importance de mettre en place un écosystème de l'innovation paneuropéen, et la communication de la Commission de 2022 intitulée «Le nouveau programme européen d'innovation»¹³² constitue déjà un pas en avant, car elle vise à tirer parti des atouts de l'écosystème d'innovation de l'UE¹³³.

2.5 Effets du changement systémique

Pour parvenir à la double transition écologique et numérique et atteindre les objectifs du pacte vert pour l'Europe et du paquet «Ajustement à l'objectif 55», le secteur de l'énergie propre de l'UE doit accélérer un changement de paradigme déjà en marche: la nécessité de faire tomber les cloisonnements entre les secteurs et de renforcer la coopération dans les domaines horizontaux (par exemple, le rôle essentiel des matières premières, la numérisation du système énergétique et l'interaction des différentes technologies dans les processus industriels, les bâtiments individuels et les villes). On citera comme exemples de cette transformation systémique les technologies énergétiques propres liées au bâtiment, la numérisation du système énergétique ainsi que les communautés d'énergie et la coopération infranationale.

Technologies énergétiques propres liées au bâtiment: les installations solaires photovoltaïques obligatoires sur les toits et le doublement du taux actuel de déploiement de pompes à chaleur individuelles¹³⁴ contribueront à la réalisation des objectifs en matière de climat et d'énergie. Pour atteindre ces objectifs, le secteur de la construction devra également intégrer un large éventail de solutions complémentaires pour les nouveaux bâtiments, telles que des méthodes d'isolation et des systèmes de contrôle efficaces, mais aussi des mesures économes en ressources. Ces solutions devront s'accompagner d'une augmentation du taux

¹²⁹ Les jeunes entreprises à fort contenu technologique (deep tech) s'appuient sur les connaissances scientifiques et se caractérisent généralement par de longs cycles de R&D et des modèles commerciaux non testés. Les jeunes entreprises à fort contenu technologique dans le domaine du climat sont des entreprises qui utilisent des technologies de pointe pour relever les défis environnementaux.

¹³⁰ Partenariat entre la Commission et le réseau Breakthrough Energy Catalyst (europa.eu); https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_21_2746

¹³¹ Commission européenne, European Innovation Scoreboard 2022, rapport annuel, 2022.

¹³² COM(2022) 332 final «Un nouveau programme européen d'innovation».

¹³³ La communication indique que l'UE prendra des mesures concrètes pour améliorer l'accès au financement pour les jeunes entreprises et les entreprises en expansion de l'UE, améliorer les règles et permettre aux innovateurs d'expérimenter de nouvelles idées, encourager la création de «vallées régionales de l'innovation», attirer et retenir les talents dans l'UE, et améliorer l'élaboration des politiques d'innovation, en clarifiant la terminologie, les indicateurs et les ensembles de données, ainsi que le soutien aux politiques apporté aux États membres.

¹³⁴ COM(2022) 230 «Plan RePowerEU».

de rénovation et de la promotion d'une rénovation en profondeur. Le stockage d'énergie sur place (batteries) est un autre élément important permettant d'augmenter la part des pompes à chaleur et d'éviter des pics extrêmes dans la production et le transport/la distribution d'électricité. Outre la disponibilité des produits, les compétences en matière d'installation et les services opérationnels pour les différentes technologies sont essentiels pour les secteurs de l'énergie propre de l'UE et pour sa compétitivité.

Numérisation du système énergétique: la numérisation se développe de manière exponentielle; en effet, rien qu'au cours des cinq dernières années, le trafic internet a triplé et environ 90 % des données dans le monde ont été créées au cours des deux dernières années¹³⁵. La décentralisation de l'énergie, tant au niveau de la production que grâce à des millions d'appareils intelligents, de pompes à chaleur et de voitures électriques connectés, transforme le système énergétique local. Une évaluation pour la ville d'Hambourg (Allemagne) a révélé un potentiel important d'économies de coûts: investir 2 millions d'EUR dans la recharge intelligente afin de réduire les pics de demande permet d'éviter de devoir investir 20 millions d'EUR dans le renforcement nécessaire du réseau en vue de couvrir une part de 9 % des véhicules électriques dans la ville¹³⁶. Sans une gestion intelligente des besoins énergétiques locaux, les limites de capacité des réseaux de distribution peuvent ralentir le passage aux énergies propres. Toutefois, certaines solutions numériques peuvent accroître la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sans mesures appropriées en matière d'efficacité, telles que la récupération de la chaleur fatale provenant des centres de données.

Communautés d'énergie et coopération infranationale: au moins deux millions de citoyens européens ont participé à plus de 8 400 communautés énergétiques et réalisé plus de 13 000 projets depuis 2000¹³⁷. Les communautés d'énergie représentent un banc d'essai et un terrain d'application importants pour les technologies et solutions en matière d'énergies propres. Les capacités renouvelables totales installées par les communautés d'énergie en Europe sont actuellement estimées à au moins 6,3 GW, soit 1 à 2 % des capacités installées au niveau national). Le solaire photovoltaïque se taille la part du lion des capacités installées, suivi par l'éolien terrestre. L'élaboration de modèles participatifs pour des technologies énergétiques plus propres, ciblant en particulier les ménages à faibles revenus, peut déclencher la création d'un plus grand nombre de communautés d'énergie dans l'ensemble de l'UE et, dans le même temps, contribuer à lutter contre la précarité énergétique.

Il est essentiel de renforcer l'interaction entre les domaines horizontaux, tout en tenant compte des interdépendances entre les différents secteurs, tant au niveau des États membres qu'au niveau de l'UE, pour accélérer le déploiement et l'expansion des technologies

¹³⁵ Agence internationale de l'énergie, Digitalization and Energy, 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>

¹³⁶ Stromnetz Hamburg, *Elektromobilität – Netzausbaustrategie und Restriktionen im Hamburger Verteilnetz*, Hambourg, 2018, <https://www.hamburg.de/contentblob/10993526/1f90214d9b07e4de6323c078ff779d9d/data/d-anlage-13-pra%CC%88sentation-snh-20180504-energienetzbeirat-snh.pdf>.

¹³⁷ Schwanitz, V. J., Wierling, A., Zeiss, J. P., von Beck, C., Koren, I. K., Marcroft, T., et Dufner, S., *The contribution of collective prosumers to the energy transition in Europe – Preliminary estimates at European and country level from the COMETS inventory*, août 2021, <https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>.

énergétiques propres et pour renforcer la compétitivité de l'UE sur le marché mondial des énergies propres¹³⁸.

3. GROS PLAN SUR LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS EN MATIÈRE D'ÉNERGIES PROPRES

La présente section consiste en une analyse de la compétitivité d'un éventail de technologies et de solutions en matière d'énergies propres qui sont essentielles pour la production d'énergie, son stockage et l'intégration du système énergétique. Elle donne également un aperçu de la manière dont la technologie et le marché évoluent pour répondre aux objectifs du pacte vert pour l'Europe et du plan REPowerEU. La présente section comprend une analyse de l'énergie solaire photovoltaïque, de l'énergie éolienne, des pompes à chaleur pour le bâtiment, des batteries, de la production d'hydrogène par électrolyse, des carburants renouvelables et des infrastructures numériques. Elle propose également une vue d'ensemble d'autres technologies importantes¹³⁹. Cette analyse fondée sur des données probantes – à partir des indicateurs énumérés à l'annexe I – a été réalisée dans le cadre de l'Observatoire des technologies énergétiques propres (CETO) de la Commission, qui est dirigé par le Centre commun de recherche. Les rapports approfondis sur les technologies sont disponibles sur le site web du CETO¹⁴⁰.

3.1. Énergie solaire photovoltaïque¹⁴¹

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est la technologie de production d'électricité qui a connu la croissance la plus rapide au monde au cours de la dernière décennie. Tous les scénarios visant à mettre en place un système énergétique neutre pour le climat¹⁴² accordent un rôle central au photovoltaïque. La récente communication sur la stratégie de l'UE pour l'énergie solaire¹⁴³ prévoit la mise en place d'environ 450 GWac de nouvelles capacités de systèmes photovoltaïques entre 2021 et 2030. Compte tenu de la tendance actuelle à installer une capacité en courant continu de 1,25 à 1,3 fois la capacité en courant alternatif pour optimiser l'utilisation de la connexion au réseau¹⁴⁴, cela porterait la capacité photovoltaïque nominale totale dans l'Union à environ 720 GWp. La stratégie de l'UE pour l'énergie solaire s'attaque aux principaux goulets d'étranglement et obstacles à l'investissement en vue d'accélérer le déploiement, de garantir la sécurité de l'approvisionnement et de maximiser les avantages socio-économiques de l'énergie photovoltaïque tout au long de la chaîne de

¹³⁸ SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies), *A systemic approach to the energy transition in Europe*, Berlin, 2021, <https://doi.org/10.26356/energytransition>.

¹³⁹ Hydroélectricité, énergie océanique, énergie géothermique, énergie et chaleur solaires concentrées, captage, utilisation et stockage du carbone, bioénergie, énergie nucléaire.

¹⁴⁰ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁴¹ Analyse fondée sur des données probantes du CETO (Chatzipanagi, A. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Photovoltaics in the European Union 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, doi: 10.2760/812610 JRC130720) sauf mention contraire.

¹⁴² Plus particulièrement, les scénarios projetés par des organisations non gouvernementales telles que Greenpeace, l'Energy Watch Group, Bloomberg New Energy Finance, l'Agence internationale de l'énergie, l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, ainsi que par les associations de l'industrie photovoltaïque.

¹⁴³ COM(2022) 221 final («Stratégie de l'UE pour l'énergie solaire»).

¹⁴⁴ Kougias I. et al, *The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan*, 2021, (doi: [10.1016/j.rser.2021.111017](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111017)). CA: Courant alternatif; CC: Courant continu.

valeur¹⁴⁵. L'alliance européenne pour l'industrie solaire photovoltaïque, l'une des initiatives concrètes de la stratégie de l'UE pour l'énergie solaire, a été officiellement approuvée par la Commission en octobre 2022. Elle vise à développer les technologies de fabrication de produits et de composants solaires photovoltaïques innovants¹⁴⁶.

Analyse de la technologie: le rendement moyen des modules à base de cellules de silicium est passé de 15,1 % en 2011 à 20,9 % en 2021¹⁴⁷. Cela est dû à l'utilisation de plaquettes de plus grande taille et de cellules solaires à plus haut rendement, notamment les cellules à jonction multiple. L'Europe dispose d'une expertise notable et d'une avance dans la technologie prometteuse des pérovskites, pour laquelle plusieurs entreprises de l'Union telles qu'Evolar (Suède), Saule Technologies (Pologne) et Solaronix (France) mettent actuellement en place des lignes de production.

La stratégie de l'UE pour l'énergie solaire¹⁴⁸ vise à inverser la tendance à la baisse observée dans le financement public et privé de l'industrie photovoltaïque¹⁴⁹. L'Union n'en reste pas moins un innovateur notable dans ce domaine, avec un nombre important de publications et de demandes de brevets enregistrées au cours de la période 2017-2019. À elle seule, l'Allemagne se classe au cinquième rang mondial pour le dépôt de brevets d'invention de haute valeur dans le domaine du photovoltaïque.

Analyse de la chaîne de valeur: tant les données de production que les nouveaux projets d'investissement confirment la prédominance de l'Asie, et en particulier de la Chine, dans le paysage de la fabrication des systèmes photovoltaïques. La totalité de la capacité supplémentaire de fabrication de polysilicium de 80 000 tonnes annoncée au début de l'année 2021 (qui s'ajoutera à une capacité totale d'environ 650 000 tonnes en 2020), ainsi que les 118 000 tonnes déjà en construction, sont en cours de construction en Chine¹⁵⁰. Les cellules solaires au silicium, qui sont principalement produites en Chine, représentent plus de 95 % de la production mondiale. L'Union conserve néanmoins une part considérable dans les segments de fabrication des équipements de production (50 %) et des onduleurs (15 %) de la chaîne de valeur du photovoltaïque.

Analyse du marché mondial: les investissements mondiaux dans la nouvelle production solaire ont augmenté de 19 % en 2021 pour atteindre 205 milliards de dollars US

¹⁴⁵ Parmi les actions clés annoncées dans la stratégie de l'UE pour l'énergie solaire figure l'initiative européenne pour les toits solaires; le train de mesures de la Commission sur les procédures d'autorisation – comprenant une proposition législative, des recommandations et des orientations; le partenariat européen à grande échelle dans le domaine des compétences pour les énergies renouvelables terrestres, y compris l'énergie solaire; et l'alliance européenne pour l'industrie solaire photovoltaïque). En particulier, l'initiative européenne pour les toits solaires rendrait obligatoire l'installation d'énergie solaire sur toiture pour i) tous les nouveaux bâtiments publics et commerciaux d'une superficie utile supérieure à 250 m² d'ici à 2026; ii) tous les bâtiments publics et commerciaux existants d'une superficie utile supérieure à 250 m² d'ici à 2027; et iii) tous les nouveaux bâtiments résidentiels d'ici à 2029. La combinaison de ces mesures devrait permettre d'augmenter considérablement les investissements dans les actifs photovoltaïques et d'accroître les capacités de fabrication de ces derniers dans l'Union.

¹⁴⁶ https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11_en

¹⁴⁷ VDMA, *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)*, 2022.

¹⁴⁸ Elle vise en particulier à lancer une initiative phare de R&I dans le domaine de l'énergie solaire dans le cadre du prochain programme de travail d'Horizon Europe, à établir un pilier consacré à la R&I dans l'alliance européenne pour l'industrie solaire photovoltaïque proposée par l'Union, et à élaborer un programme de R&I commun dans le domaine de l'énergie solaire avec les États membres dans le cadre de l'espace européen de la recherche.

¹⁴⁹ Derniers chiffres disponibles pour 2018 et 2019.

¹⁵⁰ Jäger-Waldau, Arnulf (2022), *Overview of the Global PV Industry*. Extrait de: Letcher, Trevor M. (eds.) *Comprehensive Renewable Energy*, 2^e édition, vol. 1, p. 130 à 143. Oxford: Elsevier. Doi. 10.1016/B978-0-12-819727-1.00054-6.

(242,5 milliards d'EUR¹⁵¹). Cependant, l'année 2021 a vu une nouvelle détérioration de la balance commerciale de l'Union, car ses importations ont augmenté alors que ses exportations sont restées stables, représentant 13 % des exportations mondiales. L'augmentation des coûts des matériaux enregistrée dans de nombreux secteurs industriels en 2021 et 2022 a entraîné une hausse exceptionnelle et sans précédent des coûts de production des cellules et des modules, inversant ainsi une tendance à la réduction des coûts observée depuis une décennie. Néanmoins, la compétitivité du photovoltaïque s'est encore améliorée par rapport aux sources d'électricité non renouvelables¹⁵². Le nombre de pays où la production d'électricité photovoltaïque est la source la moins chère est donc en augmentation. Les hausses des prix des combustibles fossiles dues à des catastrophes naturelles, des accidents ou des conflits internationaux ne peuvent que renforcer cette tendance.

En conclusion, les dernières données disponibles pour 2021 et 2022 confirment la tendance observée précédemment¹⁵³. L'Union a confirmé sa place parmi les plus grands marchés pour le photovoltaïque et sa forte capacité d'innovation en particulier dans les technologies et applications photovoltaïques émergentes (telles que le photovoltaïque agricole, les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments et les systèmes photovoltaïques flottants). Cependant, l'Union est fortement dépendante des importations en provenance d'Asie pour plusieurs composants essentiels (plaquettes, lingots, cellules et modules), et ne conserve une présence significative que dans les segments des équipements de production et de la fabrication d'onduleurs (qui sont actuellement confrontés à un goulet d'étranglement dû à la pénurie de puces¹⁵⁴). D'autres goulets d'étranglement dus à des limites d'accessibilité financière (en particulier pour les ménages à faibles revenus et les PME), des temps d'attente excessivement longs (liés par exemple au manque d'installateurs photovoltaïques qualifiés) ont déjà une incidence sur le déploiement à grande échelle du photovoltaïque. Les mesures et les actions clés annoncées dans la stratégie de l'UE pour l'énergie solaire offrent les principales possibilités d'investir dans des actifs photovoltaïques et de développer les capacités de fabrication de dispositifs photovoltaïques dans l'Union, ainsi que de diversifier les importations. Parallèlement, les progrès technologiques constants en vue de rendre la conception des cellules et les processus de fabrication plus efficaces et durables ont permis d'améliorer encore la compétitivité des technologies photovoltaïques par rapport aux sources d'énergie non renouvelables – même si le coût des matières premières a augmenté. Ces éléments appuient les arguments économiques en faveur du renforcement de la production et du déploiement dans l'Union, notamment des applications novatrices.

¹⁵¹ En utilisant le taux de change moyen de 1,1827 EUR contre 1 dollar US sur l'année 2021. Voir https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.fr.html

¹⁵² Cela s'explique par le fait que les prix du gaz naturel, du pétrole et du charbon ont augmenté beaucoup plus rapidement au cours de la même période. Voir <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>.

¹⁵³ COM(2021) 952 final, («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

¹⁵⁴ Rapport de l'enquête européenne sur les puces. [European Chips Report | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/economy_finance/european-chips-report-internal-market-industry-entrepreneurship-and-smes).

3.2.Énergie éolienne terrestre et en mer¹⁵⁵

L'énergie éolienne joue un rôle central dans la politique climatique et énergétique de l'Union, car l'accélération du déploiement de l'énergie éolienne est essentielle pour atteindre les objectifs du pacte vert pour l'Europe, du paquet «Ajustement à l'objectif 55» et du plan REPowerEU. Le plan REPowerEU appelle à accélérer l'installation des capacités d'énergie éolienne, avec 510 GW d'énergie éolienne à installer d'ici à 2030¹⁵⁶, ce qui devrait correspondre à une part de 31 % des capacités de production d'électricité installées dans l'Union¹⁵⁷.

L'Union occupe une position dominante au niveau mondial en ce qui concerne la R&I dans le domaine de l'énergie éolienne depuis 2014, les dépenses publiques représentant 883 millions d'EUR au cours de la période 2014-2021, et elle accueille actuellement 38 % de toutes les entreprises innovantes, avec le plus grand vivier de jeunes entreprises et de sociétés innovantes. En 2021, cependant, seulement 11 GW d'énergie éolienne (10 GW d'énergie éolienne terrestre; 1 GW d'énergie éolienne en mer) a été installé dans l'Union, et les perspectives pour 2022 sont encore inférieures au rythme nécessaire pour atteindre les objectifs du plan REPowerEU. La Chine est actuellement en tête en ce qui concerne les installations éoliennes cumulées, avec une capacité de 338 GW, principalement en raison de l'augmentation des taux de déploiement en 2021. La même année, la capacité installée cumulée de l'Union a atteint environ 190 GW.

Pour atteindre les objectifs du plan REPowerEU, il sera essentiel d'accélérer le déploiement de l'énergie éolienne, ce qui nécessitera de définir clairement les réserves d'investissement et de traduire les objectifs politiques en mesures d'exécution concrètes, notamment en adoptant des engagements visant à faciliter l'obtention des autorisations pour les parcs éoliens.

Analyse de la technologie: le total de la capacité installée de production d'énergie éolienne terrestre au niveau mondial était de 769 GW en 2021, soit près de trois fois plus que dix ans plus tôt¹⁵⁸, avec une capacité installée de 72 GW pour la seule année 2021. 2021 a également été une année record pour l'énergie éolienne en mer, avec 21 GW de nouvelles capacités installées dans le monde, soit plus du triple du précédent record de 2020. La capacité totale installée au niveau mondial représentait 55 GW en 2021¹⁵⁹. La Chine a mené l'augmentation de la capacité installée au niveau mondial avec 30,6 GW de capacité de production d'énergie éolienne terrestre et 16,9 GW de capacité de production d'énergie éolienne en mer installée en 2021.

À la fin de 2021, l'Union disposait d'une capacité installée totale de production d'énergie éolienne terrestre de 173 GW et d'une capacité installée totale de production d'énergie

¹⁵⁵ Analyse fondée sur des données probantes du CETO (Telsnig, A. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Wind Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, doi:10.2760/855840, JRC130582.) sauf mention contraire.

¹⁵⁶ SWD(2022) 230 final («Implementing the REPower EU Action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets»). Disponible à l'adresse suivante: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

¹⁵⁷ SWD(2022) 230 final («According to PRIMES modelling projections of the net installed power capacity in REPowerEU in 2030»), Figure 3: Capacité nette installée dans REPowerEU en 2030 (GWe). Disponible à l'adresse suivante: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

¹⁵⁸ *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abou Dhabi, 2022.

¹⁵⁹ *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abou Dhabi, 2022.

éolienne en mer d'environ 16 GW. La capacité totale de production d'énergie éolienne équivalait à environ 14 % de la consommation totale d'électricité dans l'Union. L'année 2021 a également vu la deuxième contribution annuelle la plus élevée de la capacité de production d'énergie éolienne terrestre dans l'Union depuis 2010 (10 GW de déploiement annuel¹⁶⁰). Toutefois, seulement 1 GW d'énergie éolienne en mer a été déployé dans l'Union en 2021¹⁶¹. Les acteurs du secteur soulignent que l'obtention des autorisations est l'un des principaux obstacles au déploiement continu et massif de l'énergie éolienne, car il entraîne des retards et une diminution du nombre de projets achevés. Cette situation entraîne à son tour une pression sur la rentabilité de la chaîne d'approvisionnement. La Commission a présenté des propositions juridiques et des orientations visant à accélérer l'obtention des autorisations dans le cadre du paquet REPowerEU.

Analyse de la chaîne de valeur: le secteur de l'énergie éolienne est devenu une industrie mondiale comptant environ 800 installations de fabrication. La plupart d'entre elles se trouvent en Chine (45 %) et en Europe (31 %)¹⁶². L'Union reste en tête en ce qui concerne les brevets de grande valeur dans les technologies de l'énergie éolienne: sa part des inventions de grande valeur était de 59 % au cours de la période 2017-2019. Les fabricants d'éoliennes dans l'Union restent en tête en ce qui concerne la qualité, le développement technologique et les investissements dans la R&I. Le secteur éolien de l'Union dispose également de capacités de fabrication élevées pour les composants à haute valeur ajoutée (par exemple, les tours, les multiplicateurs et les pales) et pour les dispositifs qui peuvent également être utilisés par d'autres secteurs industriels (par exemple, les générateurs, les convertisseurs de puissance et les systèmes de contrôle). La chaîne de valeur de la fabrication de l'énergie éolienne en mer dans l'Union s'approvisionne principalement en composants auprès de fabricants européens. Pour l'éolien terrestre, en revanche, les équipementiers de l'Union s'approvisionnent en composants auprès de nombreux fournisseurs étrangers différents.

Une grande partie des matières premières pour les générateurs sont importées, principalement de Chine. Le secteur éolien de l'Union pourrait être confronté à d'éventuelles difficultés pour augmenter la production de matières premières afin d'atteindre les objectifs pour 2030. La hausse du prix des ressources en 2021 et les incertitudes d'approvisionnement constituent également un obstacle. Le secteur a également soulevé des préoccupations environnementales en ce qui concerne le recyclage des pales en composite. Les programmes de recherche nationaux et de l'Union sur l'énergie éolienne sont donc de plus en plus axés sur la circularité.

Analyse du marché mondial: au cours des dix dernières années, l'Union a maintenu une balance commerciale positive avec le reste du monde, comprise entre 1,8 et 2,8 milliards d'EUR. Toutefois, l'Union affiche une balance commerciale négative avec la Chine et l'Inde depuis 2018. En 2020, la part de marché mondiale des équipementiers chinois a pour la première fois dépassé celle de leurs homologues de l'Union. Les principaux marchés de l'Union accueillent néanmoins un nombre important de fabricants nationaux¹⁶³.

¹⁶⁰ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026*, WindEurope, Belgique, 2022.

¹⁶¹ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026*, WindEurope, Belgique, 2022.

¹⁶² Suivis de l'Inde (7 %), du Brésil (5 %) et de l'Amérique du Nord (4,5 %). Voir également: WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, Belgique, 2020.

¹⁶³ WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, 2020.

En conclusion, le secteur éolien de l'Union continue d'occuper une position dominante au niveau mondial en ce qui concerne la R&I et les brevets de haute valeur, et ce grâce à la capacité de production, à la main-d'œuvre et aux compétences dont il dispose. Toutefois, le secteur devra plus que doubler le taux annuel actuel d'installation de capacités dans l'Union afin d'atteindre les objectifs pour 2030.

La mise en œuvre de la directive sur les énergies renouvelables¹⁶⁴, la récente proposition de modification de celle-ci¹⁶⁵ ainsi que les recommandations et orientations correspondantes de la Commission pour 2022¹⁶⁶ devraient permettre de surmonter les principaux obstacles au déploiement liés aux autorisations. Une indication claire et préalable des plans d'installation d'éoliennes des États membres permettra également de préparer en temps voulu les capacités futures. Parallèlement, la R&I sur la circularité fera progresser le secteur en répondant aux préoccupations environnementales et en gérant les ruptures d'approvisionnement, et améliorera ainsi la compétitivité du secteur éolien de l'Union.

3.3.Pompes à chaleur pour le bâtiment

Au niveau de l'Union, les pompes à chaleur sont de plus en plus soutenues dans le cadre du pacte vert pour l'Europe, du paquet «Ajustement à l'objectif 55» et du plan REPowerEU¹⁶⁷. Le plan REPowerEU préconise de doubler le taux de déploiement actuel des pompes à chaleur individuelles, ce qui permettrait d'atteindre un total de 10 millions de pompes à chaleur au cours des cinq prochaines années et de 30 millions d'ici à 2030, et serait assorti d'un renforcement de la capacité de fabrication de l'Union. Il préconise également d'accélérer le déploiement des grandes pompes à chaleur dans les réseaux de chauffage et de refroidissement urbains. Le déploiement conjoint à grande échelle du photovoltaïque (et du solaire thermique) sur les toitures et des pompes à chaleur, avec des commandes intelligentes répondant aux signaux de charge et de prix du réseau, contribuerait à la décarbonation du chauffage et réduirait les problèmes d'intégration au réseau.

Analyse de la technologie: les pompes à chaleur pour le bâtiment sont des produits disponibles sur le marché. Elles peuvent être classées en fonction de leur source d'extraction de l'énergie thermique (air, eau ou sol), du milieu auquel elles transfèrent la chaleur (air ou eau), de leur finalité (chauffage ou refroidissement des locaux, production d'eau chaude domestique) et des segments de marché (bâtiments commerciaux ou résidentiels, et réseaux).

En ce qui concerne les pompes à chaleur qui sont principalement utilisées pour le chauffage des locaux et le chauffage de l'eau sanitaire, le parc installé mesuré pour ce secteur atteignait près de 17 millions d'unités en Europe à la fin de l'année 2021, tandis que les ventes s'élevaient à 2,18 millions d'unités en 2021, soit un taux de croissance annuel composé de 17 % au cours des cinq dernières années, et de 20 % au cours des trois dernières années¹⁶⁸.

¹⁶⁴ JO L 328 du 21.12.2018. Directive (UE) 2018/2001 du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

¹⁶⁵ COM(2021) 557 final [«Proposition de directive du Parlement Européen et du Conseil modifiant la directive (UE) 2018/2001 du Parlement européen et du Conseil, le règlement (UE) 2018/1999 du Parlement européen et du Conseil et la directive 98/70/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la promotion de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, et abrogeant la directive (UE) 2015/652 du Conseil].

¹⁶⁶ SWD(2022) 0149 final («Orientations destinées aux États membres relatives aux bonnes pratiques qui permettent d'accélérer les procédures d'octroi de permis pour les projets en matière d'énergie renouvelable»)

¹⁶⁷ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

¹⁶⁸ Association européenne pour les pompes à chaleur (EHPA), 2022, <https://www.ehpa.org/market-data/>.

Les activités de R&I pour les pompes à chaleur individuelles sont motivées par la demande d'unités plus efficaces, compactes et silencieuses; de plages de fonctionnement à température ambiante plus larges; de numérisation pour une intégration optimale aux réseaux d'énergie; et de production et de stockage d'énergie locaux. Elles sont également motivées par l'évolution des réglementations de l'Union visant à renforcer l'efficacité énergétique et à réduire les incidences sur l'environnement tout au long du cycle de vie, notamment la circularité des matériaux et les réfrigérants à faible potentiel de réchauffement de la planète (PRP). La R&I sur les pompes à chaleur commerciales porte, par exemple, sur l'intégration de la fourniture simultanée de chaleur et de froid avec le stockage thermique.

La position de l'Union en matière de R&I est solide et s'améliore. Elle est en tête pour les brevets dans le domaine des «pompes à chaleur principalement destinées au chauffage des bâtiments». Au cours de la période 2017-2019, 48 % des «inventions de grande valeur» ont été déposées dans l'Union, suivie du Japon (12 %), des États-Unis (8 %), de la Corée du Sud (7 %) et la Chine (5 %)¹⁶⁹. Au cours de la période 2014-2022, le programme Horizon 2020 a fourni un financement total de 277 millions d'EUR pour des projets relatifs aux pompes à chaleur pour le bâtiment.

Analyse de la chaîne de valeur: le chiffre d'affaires des activités de fabrication, d'installation et de maintenance des pompes à chaleur dans l'Union s'est élevé à 41 milliards d'EUR en 2020, et a augmenté à un taux annuel moyen de 21 % au cours des trois dernières années. Les emplois directs et indirects se sont élevés à 318 800 en 2020, soit une croissance annuelle moyenne de 18 % au cours des trois dernières années. Ces données incluent tous les types de pompes à chaleur, y compris les pompes à chaleur air-air utilisées pour le refroidissement et/ou le chauffage¹⁷⁰.

Les pompes à chaleur ne nécessitent pas de matières premières critiques pour leur production, mais elles sont touchées par la pénurie mondiale actuelle de semi-conducteurs.

Analyse du marché mondial: dans l'Union, la chaîne de valeur des pompes à chaleur «principalement destinées au chauffage» se compose de nombreuses PME et de quelques grands acteurs. La proportion de pompes à chaleur importées augmente et le déficit commercial a atteint 390 millions d'EUR en 2021, contrairement à l'excédent de 202 millions d'EUR enregistré cinq ans plus tôt¹⁷¹. Les importations en provenance de Chine ont doublé en 2021 pour atteindre 530 millions d'EUR.

En conclusion, le déploiement des pompes à chaleur progresse déjà rapidement, mais doit encore s'accélérer afin d'atteindre les objectifs du plan REPowerEU. Les fournisseurs de l'Union doivent augmenter leur production afin de répondre à la demande croissante de pompes à chaleur dans l'Union. Certaines associations industrielles font valoir qu'une élimination progressive plus rapide des réfrigérants à fort PRP ralentirait l'utilisation accrue d'applications spécifiques, mais les dates d'interdiction prévues dans la proposition de modification du règlement relatif aux gaz à effet de serre fluorés¹⁷² sont conçues pour donner

¹⁶⁹ Lyons, L. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, JRC130874.

¹⁷⁰ Sur la base des données EurObserv'ER, 2020.

¹⁷¹ Code COMEXT 841861.

¹⁷² COM(2022) 150 final («Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil relatif aux gaz à effet de serre fluorés, modifiant la directive (UE) 2019/1937 et abrogeant le règlement (UE) n° 517/2014»).

à l'industrie suffisamment de temps pour s'adapter. Le manque d'installateurs qualifiés et le coût initial élevé pourraient ralentir le déploiement dans l'Union.

L'industrie demande la création d'une plateforme d'accélération des pompes à chaleur qui réunirait la Commission, les États membres et le secteur lui-même. La plateforme serait soutenue par des signaux politiques clairs et durables qui instaурeraient de la confiance dans la planification à long terme; garantiraient un cadre réglementaire favorable; feraient baisser les coûts en renforçant la coopération et la R&I; et développeraient un pacte pour les compétences axées sur les pompes à chaleur. Dans le cadre du plan REPowerEU, la Commission soutiendra les efforts des États membres pour mettre en commun leurs ressources publiques dans le cadre de potentiels projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) axés sur les technologies de pointe et l'innovation tout au long de la chaîne de valeur des pompes à chaleur, et pour établir un partenariat de compétences à grande échelle dans le cadre du pacte pour les compétences.

3.4. Batteries

Les batteries joueront un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs du pacte vert pour l'Europe et la mise en œuvre du plan REPowerEU¹⁷³, car elles peuvent réduire la dépendance à l'égard des importations de carburant dans les transports, ainsi que garantir une utilisation maximale de l'électricité renouvelable et réduire les coupures. Plus de 50 millions de véhicules électriques (VE) devraient circuler sur les routes de l'Union d'ici à 2030¹⁷⁴, soit au moins 1,5 TWh de batteries, auxquels s'ajouteront plus de 80 GW/160 GWh de batteries stationnaires¹⁷⁵. L'Union s'oriente progressivement vers des voitures neuves à émissions nulles d'ici à 2035, conformément à l'objectif d'un parc automobile européen de 270 millions de véhicules qui devraient être à émissions nulles (essentiellement électriques) d'ici à 2050. L'électromobilité est le principal moteur de la demande de batteries. Les batteries lithium-ion devraient dominer le marché bien au-delà de 2030, mais d'autres technologies sont développées en parallèle.

Analyse de la technologie: malgré les perturbations de l'approvisionnement en puces et en magnésium, le déploiement de la technologie des batteries dans l'Union a atteint des sommets historiques: 1,7 million de nouveaux VE ont été vendus en 2021, atteignant 18 % du marché (contre 3 % en 2019 et 10,5 % en 2020¹⁷⁶) et dépassant la Chine (16 %). Les ventes nationales de VE allaient de 1,3 % à Chypre à 45 % en Suède. Le marché des batteries stationnaires de l'Union connaît également une croissance rapide et devrait atteindre 8 GW/13,7 GWh d'ici à la fin de l'année 2022¹⁷⁷. Toutefois, une accélération supplémentaire est nécessaire pour réduire la dépendance à l'égard des centrales de pointe à gaz, conformément aux objectifs du plan REPowerEU.

¹⁷³ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

¹⁷⁴ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Commission européenne, 2021. Disponible à l'adresse suivante: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁵ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Commission européenne, 2021. Disponible à l'adresse suivante: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁶ Association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA), février 2022, <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>.

¹⁷⁷ *European Market Monitor on Energy Storage*, sixième édition (EMMES 6.0), <https://ease-storage.eu/publication/emmes-6-0-june-2022/>.

En 2021, le prix moyen des batteries a baissé de 6 % pour atteindre environ 116 EUR/kWh¹⁷⁸ sur le marché mondial et environ 150 EUR/kWh sur le marché de l'Union. Cette évolution s'inscrit dans une tendance à long terme. Cependant, les prix ayant augmenté en 2022 en raison de chocs sur le plan de l'offre, la tendance est en train de s'inverser (par exemple, au printemps 2022, le prix du carbonate de lithium a augmenté de 974 % par rapport à 2021¹⁷⁹). En 2022, les groupes-batteries seront au moins 15 % plus chers qu'en 2021¹⁸⁰. Le coût des batteries Li-ion à l'échelle du réseau était d'environ 350 EUR/kWh en 2021¹⁸¹ et, pour les systèmes de stockage domestiques, environ le double.

Analyse de la chaîne de valeur: la quasi-totalité de la production de masse de batteries lithium-ion dans l'Union en 2021 était encore assurée par des fabricants asiatiques établis dans l'Union (Hongrie et Pologne). La construction de nouvelles usines géantes signifie que l'Union (en particulier l'Allemagne et la Suède) va progressivement gagner en importance sur le marché. La société suédoise Northvolt a produit sa première cellule de batterie fabriquée avec du nickel, du manganèse et du cobalt 100 % recyclés à la fin de l'année 2021, et a commencé les livraisons commerciales en 2022. Elle affirme disposer d'un processus de recyclage très efficace, avec une récupération allant jusqu'à 95 % des métaux de la batterie¹⁸².

L'Union devrait atteindre une capacité de production installée de plus de 75 GWh¹⁸³ d'ici à la fin de l'année 2022 (contre 44 GWh à la mi-2021). Les projets en cours montrent que l'Union est en passe de satisfaire 69 % de la demande de batteries d'ici à 2025 et 89 % d'ici à 2030¹⁸⁴. Cela est dû en grande partie aux initiatives de l'alliance européenne pour les batteries¹⁸⁵.

Le segment des matières premières en amont reste le moins résilient dans la chaîne de valeur des batteries. Malgré plusieurs initiatives de l'Union, le déficit d'approvisionnement en matières premières pour batteries a augmenté en 2021¹⁸⁶. Les batteries usagées sont encore principalement envoyées en Asie pour y être recyclées¹⁸⁷.

L'Union progresse rapidement en ce qui concerne la technologie Li-ion (notamment le volet NMC¹⁸⁸ le plus performant), mais trop lentement en ce qui concerne les technologies de batteries stationnaires à partir de matières premières abondantes (par exemple, les batteries à circulation constante et les batteries sodium-ion – ces dernières ont également un bon potentiel pour les VE étant donné les développements en Chine, entre autres facteurs). L'Union est également plus lente à adopter la technologie moins coûteuse du phosphate de

¹⁷⁸BNEF, *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh*, 30 novembre 2021. Taux de change de 0,8826 EUR contre 1 dollar US le 30 novembre 2021/11/2021.

¹⁷⁹ Energy Storage News, *BloombergNEF predicts 30 % annual growth for global energy storage market to 2030*, 4 avril 2022.

¹⁸⁰ AIE, *Global EV outlook 2022, 2022*.

¹⁸¹ Sur la base du webinaire d'Aurora Energy Research du 21 avril 2022 «How high can battery costs get?».

¹⁸² NorthVolt.com, «*Northvolt produces first fully recycled battery cell*», 12 novembre 2021.

¹⁸³ Comprenant LG Chem (Pologne): 32 GWh; Samsung SDI (Hongrie): 20 GWh; Northvolt (Suède): 16 GWh; SK Innovation (Hongrie): 7,5 GWh ([Benchmark Minerals: Europe's EV gigafactory capacity pipeline to grow 6-fold to 789.2 GWh to 2030 – Green Car Congress](#)). D'autres producteurs, par exemple SAFT, MES et Leclanché, contribuent avec des capacités de moindre envergure, mais augmentent leurs volumes de production.

¹⁸⁴ EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, février 2022.

¹⁸⁵ [Site web de l'alliance européenne pour les batteries \(europa.eu\)](#)

¹⁸⁶ EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, février 2022.

¹⁸⁷ EBA250, le programme de développement industriel de l'alliance européenne pour les batteries, <https://www.eba250.com/>.

¹⁸⁸ NMC = Nickel Manganèse Cobalt.

fer lithium (ion) (LFP), de plus en plus utilisée en Asie et moins dépendante des matières premières critiques.

Analyse du marché mondial: la Chine contrôle 80 % de la capacité mondiale de raffinage des matières premières pour batteries Li-ion, 77 % de la capacité de production de cellules et 60 % de la capacité de fabrication de composants de batteries¹⁸⁹. Le déficit commercial de l'Union pour les batteries Li-ion a continué de se creuser en 2021 et a atteint 5,3 milliards d'EUR¹⁹⁰ (en hausse de 25 % par rapport à 2020). L'Union réalise environ 19 % de la production mondiale de VE¹⁹¹, mais ne possède que très peu de la chaîne d'approvisionnement en amont (à l'exception du traitement du cobalt). La production et le déploiement de bus électriques dans l'Union (7 356 bus électriques étaient en circulation à la fin de l'année 2021) sont insignifiants par rapport à la Chine, qui possède plus de 90 % du stock mondial de 670 000 bus électriques¹⁹².

En conclusion, l'Union se dote de plus en plus d'une capacité technologique indispensable dans le domaine du stockage à moindre coût/à plus long terme (par exemple, les technologies pour les batteries sodium-ion, à base de zinc et à circulation constante) et occupe une solide position en ce qui concerne les produits finaux (en particulier la production et le déploiement des VE, à l'exception du segment des bus électriques). Elle rattrape également rapidement son retard en matière de fabrication de cellules dans le cadre de la technologie Li-ion et est en passe de devenir presque autosuffisante pour ce qui est de la production de batteries d'ici à 2030. Le manque de matières premières nationales et de production de matériaux avancés est un problème persistant malgré les initiatives en cours. L'Union entend intensifier ses efforts pour relever ces défis, de l'extraction au raffinage, en passant par la transformation et le recyclage, avec par exemple la réglementation européenne annoncée sur les matières premières critiques.

3.5. Production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau

L'hydrogène renouvelable¹⁹³ est susceptible de contribuer grandement aux objectifs de l'Union en matière de climat et d'énergie. Il peut être utilisé comme carburant pour les secteurs difficiles à électrifier (par exemple, le transport à longue distance et les transports lourds); comme matière première chimique (par exemple, les engrais et autres produits chimiques); et dans les processus industriels (par exemple, la production d'acier ou de ciment). Selon les prévisions, l'hydrogène et ses dérivés devraient représenter 12 % du bouquet énergétique mondial en 2050¹⁹⁴, mais l'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau ne représente actuellement que 0,1 % de la production totale de l'Union.

¹⁸⁹ Marian Willuhn, *National lithium-ion battery supply chains ranked*, PV Magazine, 16 septembre 2020.

¹⁹⁰ Données COMEXT 2022.

¹⁹¹ Sur la base des données de production Prodcum 2021 pour l'Union et des données de l'AIE sur les ventes mondiales de VE en 2021.

¹⁹² Perspectives 2022 de l'AIE pour les VE.

¹⁹³ La Commission définit l'hydrogène renouvelable comme de l'hydrogène produit à l'aide d'électricité renouvelable ou obtenu à partir de la biomasse qui permet de réduire de 70 % les émissions de CO₂ (par rapport aux combustibles fossiles). La Commission a défini un seuil pour l'«hydrogène bas carbone» dans le paquet sur la décarbonation du gaz et de l'hydrogène du 15 décembre 2021 [COM(2021) 803 final].

¹⁹⁴ IRENA, *Geopolitics of Energy Transformation: the Hydrogen Factor*, Abou Dhabi, 2022.

Le plan REPowerEU a encore renforcé les objectifs de la stratégie de l'hydrogène pour 2020¹⁹⁵, en fixant les objectifs pour 2030 concernant l'hydrogène renouvelable et bas carbone à 10 Mt de production nationale et 10 Mt d'importations (en partie sous forme d'ammoniac). La création d'une Banque européenne de l'hydrogène accélérera la production et l'utilisation de l'hydrogène renouvelable et contribuera à développer les infrastructures nécessaires de manière coordonnée¹⁹⁶.

La Commission et les principaux fabricants d'électrolyseurs de l'Union se sont engagés à décupler la capacité de production pour atteindre une production d'hydrogène de 17,5 GW d'ici à 2025¹⁹⁷. En outre, les plans pour la reprise et la résilience (PRR) des États membres affectent environ 10,6 milliards d'EUR aux technologies de l'hydrogène et deux PIIEC ont été approuvés par la Commission en 2022 (en juillet et en septembre), pour des investissements de 5,4 et 5,2 milliards d'EUR, couvrant respectivement 15 et 13 États membres.

Analyse de la technologie: sur une capacité mondiale de 300 MW en 2020¹⁹⁸, l'Europe (y compris le Royaume-Uni et les pays de l'AELE) représentait 135 MW de capacité installée en 2021. Les électrolyseurs à membrane échangeuse de protons et alcalins représentent respectivement 55 % et 44 % de la capacité installée déployée sur le territoire européen (y compris l'AELE et le Royaume-Uni)¹⁹⁹.

Le coût actualisé de l'électricité est le principal facteur influant sur la viabilité économique des investissements dans les électrolyseurs et la hausse des prix de l'électricité reste l'un des principaux défis pour la viabilité économique d'une production compétitive d'hydrogène par électrolyse.

Le coût de la production européenne d'hydrogène à partir de sources renouvelables varie entre une médiane (2020) de 6,8 EUR/kgH₂ (production à partir de l'énergie solaire photovoltaïque) et une médiane de 5,5 EUR/kgH₂ (production à partir de l'énergie éolienne)²⁰⁰. Les coûts des électrolyseurs devraient baisser grâce à l'électrolyse à haute température: ils devraient passer de 2 130 EUR/kW en 2020 à 520 EUR/kW en 2030. Les objectifs de coût pour 2030 concernant les électrolyseurs à membrane échangeuse de protons et alcalins sont respectivement de 500 et 300 EUR/kW²⁰¹.

Analyse de la chaîne de valeur: en 2021, la capacité de fabrication d'électrolyseurs d'eau a été estimée à 2,5 GW/an en Europe²⁰². La capacité de production mondiale a été estimée à environ 6-7 GW/an (environ deux tiers pour les électrolyseurs alcalins et un tiers pour les électrolyseurs à membrane échangeuse de protons, tant pour le marché européen que pour le marché mondial)²⁰³.

¹⁹⁵ COM(2020) 301 final («Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre»).

¹⁹⁶ Comme annoncé dans le discours sur l'état de l'Union 2022 le 14 septembre 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/SPEECH_22_5493.

¹⁹⁷ Déclaration commune du 5 mai 2022, <https://ec.europa.eu/documents/50014/>.

¹⁹⁸ *Global Hydrogen Review*, AIE, 2021.

¹⁹⁹ *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

²⁰⁰ *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

²⁰¹ *Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027*, partenariat pour un hydrogène propre.

²⁰² Déclaration commune du Sommet européen de l'électrolyse à Bruxelles, 5 mai 2022.

²⁰³ BNEF, 2021. À noter: les estimations de la capacité de production annuelle varient selon les sources.

Les volumes de fabrication en Europe sont plus faibles qu'en Chine et aux États-Unis. Selon les estimations, les entreprises chinoises possèdent la moitié de la capacité mondiale de fabrication d'électrolyseurs alcalins et les entreprises américaines possèdent la majeure partie de la fabrication d'électrolyseurs à membrane échangeuse de protons dans le monde. L'Europe est en tête pour ce qui est du nombre d'entreprises manufacturières et de la fabrication d'électrolyseurs à oxyde solide, mais elle dépend de pays comme la Chine, la Russie et l'Afrique du Sud pour l'approvisionnement en matières premières critiques, dont elle ne peut se procurer que 1 à 3 % sur son territoire²⁰⁴.

La consommation d'eau (actuellement d'environ 17 l/kgH₂) associée au déploiement d'une production d'hydrogène plus renouvelable augmentera la pression sur les ressources en eau douce, de sorte que les nouveaux emplacements des électrolyseurs devraient être conformes à la directive-cadre sur l'eau²⁰⁵ pour éviter les goulets d'étranglement de la production liés à l'eau.

Analyse du marché mondial: seul 0,2 % de la demande annuelle totale d'hydrogène (non renouvelable) en Europe, soit 8,4 millions de tonnes, est fourni par le commerce international²⁰⁶ Même si le commerce international de l'hydrogène n'est pas encore une réalité, il existe des possibilités commerciales importantes dans l'approvisionnement futur de l'Union en hydrogène renouvelable, comme l'indique le plan REPowerEU.

En conclusion, sans systèmes d'assemblage plus grands, davantage d'automatisation et d'économies d'échelle, l'Union ne peut pas concurrencer la Chine dans le domaine des électrolyseurs alcalins.

Les prix élevés actuels de l'électricité et la dépendance à l'égard des importations de matières premières critiques concentrées chez quelques fournisseurs sont des faiblesses fondamentales des chaînes de valeur des électrolyseurs de l'Union. Des accords de coopération à long terme sont nécessaires. Il faut également mener des recherches spécifiques sur les alternatives aux métaux rares et aux autres matières premières critiques qui sont actuellement nécessaires pour l'électrolyse de l'eau. En outre, la réussite à long terme dépend d'un approvisionnement durable en eau et d'une capacité de recyclage suffisante dans l'Union, ainsi que d'une approche globale pour attirer la demande et stimuler l'offre. Le soutien des cadres réglementaires et financiers de l'Union, ainsi que les investissements importants réalisés dans le cadre du financement de la reprise, des PIIEC, de la politique de cohésion, d'Horizon Europe, de l'entreprise commune «Hydrogène propre»²⁰⁷ et du Fonds pour l'innovation sont essentiels pour la compétitivité de l'industrie européenne de l'hydrogène renouvelable.

²⁰⁴ Dolci, F. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Hydrogen Electrolysis – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, JRC130683.

²⁰⁵ JO L 327 du 22.12.2000. Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

²⁰⁶ Hydrogen Europe, *Clean Hydrogen Europe*, 2021. La demande annuelle d'hydrogène inclut l'Islande, la Norvège, la Suisse et le Royaume-Uni.

²⁰⁷ L'entreprise commune «Hydrogène propre» a alloué 150,5 millions d'EUR, le programme Horizon 2020 a débloqué 130 millions d'EUR et le Fonds pour l'innovation a soutenu quatre projets à hauteur de 240 millions d'EUR jusqu'à la mi-2022.

3.6. Carburants renouvelables

Les technologies des carburants renouvelables peuvent contribuer de manière significative à court terme à la décarbonation des transports, à la sécurité de l'approvisionnement en énergie et à la diversification énergétique. Le plan REPowerEU²⁰⁸ considère notamment le biométhane²⁰⁹ comme un élément clé pour diversifier les approvisionnements en gaz de l'Union en augmentant sa production deux fois plus que l'objectif de l'Union pour 2030, plaçant ainsi le biométhane en tête des priorités en matière d'énergies renouvelables.

Les propositions législatives du paquet «Ajustement à l'objectif 55»²¹⁰ introduiraient une demande importante d'énergies renouvelables dans le secteur des transports en 2030, bien au-delà des objectifs relatifs aux parts de biocarburants avancés et de carburants renouvelables d'origine non biologique fixés dans la proposition RED II révisée²¹¹. Cela est dû à l'objectif de réduction des gaz à effet de serre (GES) de 13 % dans les transports (qui ne sera probablement pas atteint par la seule électrification), et aux objectifs plus élevés de réduction des GES de respectivement 40 % et 61 % dans les propositions révisées du règlement sur la répartition de l'effort²¹² et de la directive relative au système d'échange de quotas d'émission²¹³ (si ces objectifs doivent être atteints avec des contributions égales des transports). Le plan REPowerEU propose d'augmenter encore les quantités de carburant renouvelable nécessaires. Contrairement au transport routier, dont la décarbonation devrait reposer en grande partie sur l'électricité et l'hydrogène²¹⁴, les propositions «RefuelEU Aviation» et «FuelEU Maritime» prévoient que les carburants renouvelables représenteront 5 % et 6,5 % de la consommation totale de carburants pour avions et bateaux dans les secteurs aérien et maritime de l'Union^{215, 216}.

Analyse de la technologie: des filières commerciales existent (par exemple, la digestion anaérobie pour la production de biométhane, d'huile végétale hydrogénée et d'éthanol lignocellulosique), mais la capacité installée est faible (0,43 Mt/an) et la production prévue est limitée (1,85 Mt/an). Diverses technologies innovantes (par exemple, la gazéification de la biomasse en carburants synthétiques Fischer-Tropsch, les carburants dérivés de la pyrolyse

²⁰⁸ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

²⁰⁹ En particulier lorsqu'il est produit à partir de déchets et de résidus organiques, ce qui en fait un biocarburant avancé lorsqu'il est utilisé dans le secteur des transports.

²¹⁰ COM(2021) 550 final («Ajustement à l'objectif 55»: atteindre l'objectif climatique de l'UE à l'horizon 2030 sur la voie de la neutralité climatique).

²¹¹ COM(2021) 557 final [«Modification de la directive (UE) 2018/2001, du règlement (UE) 2018/1999 et de la directive 98/70/CE en ce qui concerne la promotion de l'énergie produite à partir de sources renouvelables»].

²¹² COM/2021/555 final [«Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant le règlement (UE) 2018/842 relatif aux réductions annuelles contraignantes des émissions de gaz à effet de serre par les États membres de 2021 à 2030 contribuant à l'action pour le climat afin de respecter les engagements pris dans le cadre de l'accord de Paris»].

²¹³ COM/2021/551 final [«Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil modifiant la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans l'Union, la décision (UE) 2015/1814 concernant la création et le fonctionnement d'une réserve de stabilité du marché pour le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'Union et le règlement (UE) 2015/757»].

²¹⁴ Les principaux facteurs stratégiques dans le secteur sont les normes d'émissions de CO₂ et le règlement sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR) proposé dans le cadre du paquet «Ajustement à l'objectif 55».

²¹⁵ SWD (2021) 633 final («Analyse d'impact accompagnant la proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil relatif à l'instauration d'une égalité des conditions de concurrence pour un secteur du transport aérien durable»).

²¹⁶ COM (2021) 562 final («Proposition de règlement relatif à l'utilisation de carburants renouvelables et bas carbone dans le transport maritime»).

et la production de biométhanol) ont fait l'objet de démonstrations en milieu industriel et sont prêtes à décoller. Des progrès notables sont accomplis avec plusieurs technologies de la prochaine génération. L'Union axe ses actions sur les biocarburants avancés, produits principalement à partir de déchets et de résidus non recyclables, et limite son soutien aux biocarburants produits à partir de denrées alimentaires et de matières premières.

Les technologies relatives aux autres carburants synthétiques renouvelables (carburants solaires, carburants microbiens de deuxième génération et carburants à base de microalgues) sont pour la plupart encore à l'échelle du laboratoire. Même pour les carburants de synthèse, les technologies les plus avancées ne sont pas encore commercialisées en raison des défis technologiques encore existants, des coûts d'électrolyse actuellement élevés, des pertes de conversion importantes (50 %) et des coûts de transport et de distribution élevés²¹⁷.

Analyse de la chaîne de valeur: le principal défi concernant l'adoption par le marché des biocarburants avancés est leur compétitivité par rapport aux biocarburants conventionnels existants issus de cultures vivrières. Le coût des biocarburants avancés est estimé à 1,5 à 3 fois le prix du marché des biocarburants traditionnels tels que le biodiesel et le bioéthanol (fixé à 50-100 EUR/MWh). Les biocarburants avancés entraînent également des dépenses d'investissement élevées (jusqu'à 500 millions d'EUR pour une seule usine) et sont liés à la disponibilité de matières premières durables provenant de la biomasse. Il existe un potentiel important de réduction des coûts d'investissement de 25 à 50 % et des coûts des matières premières de 10 à 20 %, notamment grâce à la R&I, au déploiement à grande échelle et à la cotransformation dans les usines existantes.

Le financement privé de la R&I par capital-risque pour les biocarburants²¹⁸ s'est élevé en moyenne à 250 millions d'EUR par an entre 2010 et 2021. Les États-Unis et le Canada ont dominé (bien qu'avec des définitions différentes des biocarburants), tandis que la part de l'Union n'a été que de 6 % au cours des cinq dernières années. Toutefois, l'Union est en tête avec deux fois plus de brevets de haute valeur que les États-Unis. La Chine détient la plupart des brevets de faible innovation et les demandes de brevets de l'Union augmentent aux États-Unis et en Chine.

Analyse du marché mondial: l'Union détient environ 7 % de la valeur du marché mondial des biocarburants (soit environ 105 milliards d'EUR en 2020), qui provient essentiellement du biodiesel de première génération. Le chiffre d'affaires a culminé à 14,4 milliards d'EUR en 2018²¹⁹, la majeure partie étant générée en France, en Allemagne et en Espagne. 250 000 emplois directs et indirects ont été créés le long de la chaîne de valeur dans l'Union. L'Union abrite également 29 % des entreprises innovantes du monde, tandis que les États-Unis et le Japon en comptent le plus.

²¹⁷ 50 % pour les carburants de synthèse. Les coûts actuels des carburants de synthèse, qui sont de 7 EUR/litre, devraient baisser à 1-3 EUR/litre jusqu'en 2050, en raison des économies d'échelle, des effets pédagogiques et de la baisse prévue du prix de l'électricité renouvelable.

²¹⁸ Les investissements privés comprennent le capital-risque, les fonds providentiels et d'amorçage, ainsi que les subventions. 57 % des investissements réalisés depuis 2010 l'ont été aux États-Unis, 28 % au Canada et seulement 10 % dans l'ensemble de l'Union (rapport 2022 du JRC CETO sur les biocarburants avancés).

²¹⁹ Advanced Biofuels indique que la France avait le chiffre d'affaires le plus élevé en 2020 (un peu plus de 2 500 millions d'EUR), suivie de l'Allemagne et de l'Espagne (environ 1 500 millions d'EUR chacune) et de la Hongrie, de la Roumanie et de la Pologne (un peu moins de 1 000 millions d'EUR chacune) (voir *Clean Energy Technology Observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, JRC130727).

Le secteur des biocarburants avancés n'en est qu'à ses débuts. Le nombre d'usines commerciales est encore assez faible et le commerce international est très limité. L'Union occupe le premier rang au niveau mondial avec 19 des 24 usines commerciales opérationnelles de biocarburants avancés, majoritairement en Suède et en Finlande (12)²²⁰.

Tous les biocarburants peuvent faire l'objet d'échanges internationaux. Le commerce international est moins important que pour les carburants fossiles, et existe à peine pour les biocarburants avancés. Les importations de biocarburants de l'Union sont en constante augmentation depuis 2014. L'Union a enregistré un déficit commercial de biocarburants de plus de 2 milliards d'EUR en 2021, les importations provenant principalement d'Argentine, de Chine et de Malaisie. Les Pays-Bas et l'Allemagne sont les plus grands producteurs de l'Union et les plus grands exportateurs mondiaux de biocarburants.

En conclusion, bien que la capacité de production de carburants renouvelables installée et prévue pour 2030 soit minime et que le potentiel des biocarburants avancés issus de matières premières durables dans l'Union soit limité, ce secteur peut néanmoins contribuer à la réalisation des objectifs de réduction des émissions de GES du paquet «Ajustement à l'objectif 55» et couvrir suffisamment le retard en matière d'électrification des transports. Certains risques techniques et économiques doivent encore être surmontés afin de réaliser pleinement le potentiel des carburants renouvelables dans les transports. Le coût de tous les carburants renouvelables et, en particulier, des carburants de synthèse, est encore élevé parce qu'ils dépendent des prix des énergies renouvelables et de l'hydrogène. Néanmoins, les biocarburants avancés reposent sur des ressources locales durables en biomasse et sur des chaînes d'approvisionnement courtes qui créent un grand nombre d'emplois qualifiés, réduisent la précarité énergétique et stimulent la compétitivité industrielle. L'Union est clairement le numéro un du marché en ce qui concerne les usines commerciales opérationnelles de biocarburants avancés et les innovations de grande valeur. Les entreprises de l'Union figurent actuellement parmi les dix premières au monde, mais elles risquent de perdre leur avance technologique en raison du manque de financement privé. Par conséquent, outre l'énergie produite au niveau national, le potentiel d'exportation des technologies européennes sous-jacentes doit également être pris en compte.

3.7. Technologies intelligentes pour la gestion de l'énergie

Ces dernières années, les responsables politiques nationaux et de l'Union ont clairement reconnu l'importance des réseaux électriques intelligents. La stratégie de l'UE pour l'intégration du système énergétique de 2020²²¹ a souligné l'importance des réseaux intelligents pour atteindre les objectifs de la politique énergétique et climatique de l'Union. Le règlement révisé sur les infrastructures énergétiques transeuropéennes de 2022²²² mentionne le déploiement de l'électricité intelligente comme un domaine thématique

²²⁰ Huit usines se situent en Suède, quatre en Finlande, deux en Espagne et en Italie, une en France et aux Pays-Bas. En dehors de l'Union, les États-Unis en comptent deux et la Chine, l'Indonésie, le Japon et la Norvège en ont chacune (rapport 2022 du JRC CETO sur les biocarburants avancés).

²²¹ COM(2020) 299 final («Alimenter en énergie une économie neutre pour le climat: une stratégie de l'UE pour l'intégration du système énergétique»).

²²² JO L 152 du 3.6.2022. Règlement (UE) 2022/869 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2022 concernant des orientations pour les infrastructures énergétiques transeuropéennes, modifiant les règlements (CE) n° 715/2009, (UE) 2019/942 et (UE) 2019/943 et les directives 2009/73/CE et (UE) 2019/944, et abrogeant le règlement (UE) n° 347/2013.

prioritaire²²³. Dans leurs PRR, les États membres ont reconnu le potentiel des solutions numériques pour améliorer l'intelligence des réseaux électriques²²⁴. Le déploiement de réseaux électrifiés et intelligents progresse, mais il faut encore renforcer l'infrastructure électrique pour mettre en œuvre le plan REPowerEU. Les défis à relever sont la réduction, le partage des données entre les différents acteurs, la flexibilité, l'interopérabilité et la maturité technologique. Le plan d'action de l'UE relatif à la transition numérique du système énergétique²²⁵ présente une série de mesures visant à surmonter ces obstacles.

Compte tenu du grand nombre et du large éventail de technologies énergétiques intelligentes, la présente section consiste à présenter une évaluation des évolutions technologiques et commerciales pertinentes pour seulement trois technologies clés: i) l'infrastructure de compteurs de pointe; ii) les systèmes domestiques de gestion de l'énergie; et iii) les systèmes de recharge intelligents des véhicules électriques.

i) Infrastructure de compteurs de pointe (AMI)

Les systèmes AMI²²⁶ offrent de nombreux avantages tant pour les fournisseurs de services énergétiques que pour les consommateurs, notamment la réduction des factures d'électricité grâce à une meilleure gestion de la consommation; une meilleure observabilité du réseau et donc une meilleure gestion des pannes; une réduction des coûts de mise à jour du réseau grâce à une meilleure gestion des pics de consommation d'électricité; et un meilleur contrôle du client grâce à l'utilisation d'une infrastructure client avancée (c'est-à-dire des applications intelligentes et des portails web)²²⁷.

Le déploiement des systèmes de compteurs intelligents progresse dans l'Union, mais il doit encore s'accélérer. En 2020, seuls 43 % des consommateurs avaient été équipés d'un compteur électrique intelligent (ce qui correspond à environ 123 millions d'unités dans l'Union et au Royaume-Uni)²²⁸. Les fonctionnalités offertes par l'infrastructure de compteurs de pointe varient: dans la plupart des pays, elles proposent des informations détaillées via une interface de compteur sur les données de consommation (par exemple, niveau de consommation/date/heure) et/ou des informations sur les données de consommation cumulées.

Pour exploiter pleinement le potentiel de l'infrastructure de compteurs de pointe, il faudra l'intégrer davantage aux systèmes domestiques de gestion de l'énergie et aux appareils

²²³ Le règlement exige que les projets de réseaux intelligents contribuent à la réalisation d'au moins deux des critères suivants: i) sécurité de l'approvisionnement; ii) intégration du marché; iii) sécurité, flexibilité et qualité de l'approvisionnement du réseau; et iv) intégration intelligente du secteur.

²²⁴ Commission européenne, *Recovery and Resilience Scoreboard. Thematic Analysis: Digital public services*, décembre 2021.

²²⁵ COM(2022) 552 final, Transition numérique du système énergétique – Plan d'action de l'UE.

²²⁶ Les systèmes AMI sont constitués de différents composants. Les compteurs intelligents constituent la partie centrale, et sont complétés par des réseaux de communication et des systèmes de gestion des données.

²²⁷ Infrastructure de compteurs de pointe et systèmes clients, *Results from the Smart Grid Investment Grant Program*, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Département américain de l'énergie, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf

²²⁸ Estonie, Espagne, Italie, Finlande et Suède: 90 %, Danemark, France, Luxembourg, Malte, Pays-Bas et Slovénie: 70-90 %, Lettonie et Portugal: 50-70 %, Grèce, Autriche et Royaume-Uni: 20-50 % (Vitiello, S., Andreadou, N., Ardelean, M. and Fulli, G., *Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the European Green Deal*, Energies, Vol. 15, p. 2340, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15072340>.

intelligents (notamment les systèmes de recharge intelligents des VE), ainsi qu'aux nouveaux services énergétiques.

ii) Systèmes domestiques de gestion de l'énergie

Le déploiement croissant d'appareils intelligents²²⁹ indique que les systèmes domestiques de gestion de l'énergie devraient devenir les systèmes pivots de l'agrégation, l'optimisation et l'externalisation des données vers des tiers (par exemple, les courtiers en énergie et les prestataires de services). La Commission prépare actuellement un code de conduite pour les fabricants d'appareils intelligents en matière d'énergie, qui définira les exigences d'interopérabilité et les principes de partage des données entre appareils; les systèmes d'immatriculation et de domotique; les chargeurs de VE; les agrégateurs; et les gestionnaires de réseaux de distribution²³⁰.

Les solutions domestiques actuelles de gestion de l'énergie vont des applications de surveillance de l'énergie directement destinées aux clients aux plateformes logicielles en marque blanche pour les services publics, qui peuvent ensuite être déployées auprès des utilisateurs finaux. Outre les entreprises «traditionnelles» ayant fait leurs preuves dans le domaine de l'énergie et/ou de l'électronique²³¹, de grandes sociétés de services et d'ingénierie en informatique telles que Google, Apple et Cisco distribuent désormais des produits des systèmes domestiques de gestion de l'énergie²³². Cette tendance souligne le rôle croissant du génie logiciel dans les dispositifs de l'internet des objets.

La demande de systèmes domestiques de gestion de l'énergie devrait connaître une croissance significative dans les années à venir. Par exemple, le marché allemand, qui est le plus grand marché national des systèmes domestiques de gestion de l'énergie de l'Union, devrait atteindre près de 460 millions de dollars US (544 millions d'EUR²³³) d'ici à 2027, et le marché français des systèmes domestiques de gestion de l'énergie pourrait connaître un taux de croissance annuel moyen (CAGR) de 20,3 % entre 2021 et 2027²³⁴. Ces chiffres reflètent les tendances mondiales. Le marché mondial des systèmes domestiques de gestion de l'énergie a été estimé à 2,1 milliards de dollars US en 2021 (2,5 milliards d'EUR²³⁵) et pourrait atteindre 6 milliards de dollars US (7 milliards d'EUR²³⁶) d'ici à 2027 (avec un

²²⁹ Il s'agit par exemple de thermostats intelligents, de prises intelligentes, d'éclairages intelligents, ainsi que d'appareils à énergie distribuée comme les systèmes photovoltaïques et les véhicules électriques.

²³⁰ [Support on the development of policy proposals for energy smart appliances | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability \(europa.eu\)](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html).

²³¹ Par exemple Fortum (FI), ENEL X (IT), Bosch (DE), NIBE (SE) et Schneider Electric (FR). Les fournisseurs de systèmes domestiques de gestion de l'énergie ont été présentés en détail dans le rapport sur la compétitivité de la Commission pour 2021 [SWD(2021) 307 final, [Staff Working Document](#)].

²³² Home de Google, Siri d'Apple et le service de gestion de l'énergie de Cisco sont des exemples de services HEMS.

²³³ Un taux de change moyen de 1,1827 EUR contre 1 dollar US sur l'année 2021 est utilisé dans le présent paragraphe. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²³⁴ Delta-EE, <https://www.delta-ee.com/research-services/home-energy-management/>.

²³⁵ Un taux de change moyen de 1,1827 EUR contre 1 dollar US sur l'année 2021 est utilisé dans le présent paragraphe. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²³⁶ Un taux de change moyen de 1,1827 EUR contre 1 dollar US sur l'année 2021 est utilisé dans le présent paragraphe. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

CAGR de 16,5 % au cours de la période 2022-2027)²³⁷. À ce stade, cependant, il n'est pas encore clair si les systèmes domestiques de gestion de l'énergie aideront uniquement les consommateurs à optimiser leur consommation et leur confort ou s'ils permettront également de répondre à la demande et d'assurer la flexibilité à grande échelle.

iii) Systèmes de recharge intelligents des VE

Les systèmes de recharge intelligents des VE seront essentiels pour maximiser les synergies entre les VE, la production d'énergie renouvelable et les services de réseau. Compte tenu du rythme de déploiement des VE, ces derniers ne devraient pas provoquer de crise de la demande d'électricité à court ou moyen terme²³⁸, mais ils pourraient modifier la courbe de charge²³⁹. Les effets des systèmes de recharge intelligents des VE peuvent être plus importants dans les régions et les territoires locaux où une forte concentration de VE rencontre une infrastructure de réseau moins solide. Les techniques de recharge intelligente des VE peuvent potentiellement fournir des services d'équilibrage au réseau et réduire le délestage de la production d'énergie renouvelable, diminuant ainsi le besoin de modernisation du réseau.

La recharge intelligente comprend un éventail d'options tarifaires et techniques de recharge, et se présente sous trois formes: véhicules à réseau unidirectionnels (V1G), véhicules à réseau bidirectionnels (V2G) et véhicules à domicile ou à bâtiment (V2H-B). Les principaux acteurs du marché des systèmes de recharge intelligents des VE sont ABB (Suède/Suisse), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Allemagne), Schneider Electric (France), GreenFlux et Alfen N.V. (Pays-Bas), Virta (Finlande), Driivz et Tesla (États-Unis).

Le marché mondial des systèmes de recharge intelligents des VE est clairement en train de décoller, avec une valeur estimée à 1,52 milliard de dollars US (1,77 milliard d'EUR²⁴⁰) en 2020 et un taux de croissance annuel moyen (CAGR) de 32,42 % entre 2021 et 2031²⁴¹. Toutefois, contrairement aux solutions V1G plus matures, les solutions V2G et V2H-B n'ont pas encore atteint le stade du large déploiement sur un marché, bien que le nombre de projets pilotes et de démonstrations soit en hausse.

Le déploiement à grande échelle d'une infrastructure de recharge intelligente posera deux problèmes: premièrement, la normalisation des interfaces de communication entre les points

²³⁷ Groupe IMARC: *Home Energy Management System Market Size and Share 2022-2027*, <https://www.imarcgroup.com/home-energy-management-systems-market?msclkid=5440b237b02f11ecae445030f049ab37>.

²³⁸ Les simulations du réseau de distribution en Allemagne montrent que les besoins de modernisation du réseau sont plutôt faibles jusqu'à ce que les VE atteignent environ 20 % du parc de véhicules (VertgeWall, C.M. et al., *Modelling Of Location And Time Dependent Charging Profiles Of Electric Vehicles Based On Historical User Behaviour*, CIRED 2021 – La 26^e conférence et exposition internationale sur la distribution d'électricité, 2021).

²³⁹ McKinsey&Company, Centre McKinsey pour la mobilité future, *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*, 2018.

²⁴⁰ Un taux de change moyen de 1,1827 EUR contre 1 dollar US sur l'année 2021 est utilisé dans le présent paragraphe. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²⁴¹ Transparency market research, *Smart EV Charger Market: 2021-2031*, 2021.

de charge, les VE et le réseau de distribution devra être consolidée; deuxièmement, il faudra répondre à une demande croissante de matières premières²⁴².

Les systèmes AMI, les systèmes domestiques de gestion de l'énergie et les systèmes de recharge intelligents devraient continuer à progresser. Le déploiement des systèmes AMI a été plus lent que prévu initialement. Une intégration plus poussée avec les systèmes domestiques de gestion de l'énergie les appareils intelligents est nécessaire pour exploiter pleinement les possibilités des systèmes AMI. La présence croissante d'appareils intelligents devrait entraîner une augmentation significative de la demande de systèmes domestiques de gestion de l'énergie. Le marché mondial des systèmes de recharge intelligents des VE devrait également décoller, mais des défis devront être relevés.

3.8.Principales conclusions sur d'autres technologies énergétiques propres

Les sections ci-dessus se concentrent sur les technologies et solutions en matière d'énergies propres analysées en 2021²⁴³. Les autres grandes solutions énergétiques propres présentées dans la présente section sont couvertes dans les rapports correspondants du CETO²⁴⁴. Ces technologies sont à des stades de développement différents et évoluent dans divers contextes. Cela signifie qu'elles ont chacune leur propre série de défis et de perspectives en matière de compétitivité.

L'hydroélectricité²⁴⁵, par exemple, a été largement déployée dans l'Union. La capacité installée était de 151 GW en 2021, soit une augmentation de +6 GW par rapport à 2011, correspondant à environ 12 % de la production nette d'électricité de l'Union. Les 44 GW d'hydroélectricité par pompage de l'Union représentent la quasi-totalité de la capacité de stockage d'électricité de l'Union et assurent la flexibilité du réseau électrique et la capacité de stockage de l'eau. Avec un parc vieillissant, la remise en état durable des capacités hydroélectriques existantes gagne sans cesse en importance. C'est aussi l'occasion de rendre le parc hydroélectrique plus résistant aux changements climatiques et aux évolutions du marché. L'Union occupe une position dominante dans le domaine de la R&I, détenant 33 % de toutes les inventions de grande valeur au niveau mondial (2017-2019) et accueillant 28 % de toutes les entreprises innovantes. Sur un marché en expansion mondiale, elle détenait également 50 % de l'ensemble des exportations mondiales en matière d'hydroélectricité, pour une valeur d'un milliard d'EUR au cours de la période 2019-2021. Toutefois, pour exploiter pleinement son potentiel, l'Union devra relever les défis liés à l'acceptation sociale et aux incidences environnementales des nouvelles installations et des nouveaux réservoirs. Les effets du changement climatique se font également sentir de différentes manières sur l'hydroélectricité en Europe et les réservoirs hydroélectriques pourraient jouer un rôle dans l'atténuation de certains de ces effets. Il est essentiel de tenir compte des avantages

²⁴² Des matières premières telles que l'acier inoxydable, le cuivre, l'aluminium, les polycarbonates, les élastomères et les polyuréthanes thermoplastiques sont utilisées pour la fabrication de composants essentiels des stations de recharge pour VE (boîtiers, câbles, connecteurs, isolation et gaine des câbles et conduits flexibles). Le silicium et le germanium sont des matières premières cruciales pour la fabrication de circuits et de cartes électroniques.

²⁴³ COM(2021) 952 final, («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

²⁴⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

²⁴⁵ Quaranta, E. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, JRC130587.

supplémentaires (au-delà de la production d'énergie) des réservoirs hydroélectriques polyvalents et d'encourager les technologies et mesures hydroélectriques plus durables (c'est-à-dire ayant une incidence moindre).

Un nombre croissant de déploiements de l'**énergie océanique**²⁴⁶ ont lieu. Sur le long terme, compte tenu du potentiel des ressources, l'énergie océanique pourrait satisfaire jusqu'à 10 % des besoins énergétiques de l'Union. La stratégie de l'UE pour développer les énergies renouvelables en mer de 2020²⁴⁷ a proposé des objectifs de capacité spécifiques pour l'énergie océanique, l'objectif à long terme étant d'atteindre au moins 40 GW d'ici à 2050. Les entreprises de l'Union sont à la tête du secteur de l'énergie océanique, la plupart d'entre elles étant situées dans des pays de l'Union. Les déploiements à l'intérieur et à l'extérieur de l'Union s'intensifient en ce qui concerne la capacité installée. Les dispositifs individuels contribuent déjà au réseau pendant de plus longues périodes²⁴⁸. Toutefois, pour que les technologies de l'énergie houlomotrice et marémotrice s'établissent sur le marché de l'électricité et soient compétitives par rapport aux autres sources d'énergie renouvelables, il faut continuer à réduire les coûts et garantir la durabilité. Des financements supplémentaires consacrés aux essais et à l'adoption par le marché sont également nécessaires pour permettre leur déploiement à grande échelle.

L'énergie géothermique²⁴⁹ a connu une croissance à la fois pour les centrales électriques et pour le chauffage et le refroidissement urbains, mais à un rythme lent par rapport aux autres technologies énergétiques propres. En 2021, deux centrales géothermiques supplémentaires ont été mises en service en Allemagne, d'une capacité de 1 MWe et 5 MWe²⁵⁰ – portant ainsi la capacité totale de l'Union à 0,877 GWe – alors que la capacité installée totale dans le monde était d'environ 14,4 GWe. En 2021, la capacité installée totale du chauffage et du refroidissement urbains géothermiques a atteint 2,2 GWth dans l'Union, avec plus de 262 systèmes. La plus forte croissance est enregistrée en France, aux Pays-Bas et en Pologne. Les systèmes géothermiques améliorés sont encore confrontés à plusieurs défis en matière d'innovation qui nécessiteront une R&I plus poussée. Il est essentiel de réduire le risque d'investissement dans les projets d'énergie géothermique pour exploiter l'immense potentiel de cette énergie. Dans l'Union, les principaux défis concernent le rapport coût-efficacité et les performances environnementales.

L'énergie et la chaleur solaires concentrées²⁵¹ peuvent contribuer sensiblement à la production d'électricité dans les endroits où l'ensoleillement direct est élevé, mais seule une fraction de son potentiel a été exploitée jusqu'à présent. En 2021, la capacité installée dans le

²⁴⁶ Y compris les technologies de conversion de l'énergie houlomotrice, marémotrice à gradient de salinité et thermique des océans.

²⁴⁷ COM(2020) 741 final («Une stratégie de l'UE pour exploiter le potentiel des énergies renouvelables en mer en vue d'un avenir neutre pour le climat»).

²⁴⁸ L'énergie marémotrice de Meygen 1A (UK) fonctionne depuis avril 2018, l'énergie houlomotrice de Mutriku (ES) depuis juillet 2011 et l'énergie marémotrice des Shetland depuis 2016.

²⁴⁹ Bruhn, D. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Deep Geothermal Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, JRC130585.

²⁵⁰ European Geothermal Energy Council, *2021 EGEN Geothermal Market Report*.

²⁵¹ Taylor, N. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Concentrated Solar Power and Heat in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, doi: 10.2760/080204, JRC130811.

monde était d'environ 6,5 GW, dont 2,4 GW dans l'Union. Il existe également un vaste marché européen de la chaleur industrielle, qui peut être partiellement exploité par des systèmes de chauffage solaire à concentration. Explorer ce potentiel pour l'électricité et la chaleur industrielle au moyen de mesures d'appui financières et autres permettrait à l'Union de mieux faire face à la concurrence internationale. Cet aspect est particulièrement important, car les organisations chinoises sont en train de devenir des porteurs internationaux de projets dans le domaine du solaire à concentration, où les entreprises de l'Union occupent depuis toujours une position dominante. Le solaire à concentration a fait des progrès considérables au niveau de la réduction des coûts et s'est imposé comme une solution fiable. Les organisations européennes jouent un rôle de premier plan dans la recherche et le développement technologique. Les chercheurs de l'Union sont parmi les premiers en nombre d'articles scientifiques publiés et brevets de haute valeur déposés concernant l'accroissement de l'efficacité et la réduction des coûts, comme le prévoit le plan de mise en œuvre concernant le solaire à concentration du plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (plan SET)²⁵². La R&I jouera un rôle essentiel à cet égard et un appui concret continuera d'être apporté au niveau de l'Union, comme annoncé dans la nouvelle stratégie de l'UE pour l'énergie solaire.

Les progrès en matière de **captage, d'utilisation et de stockage du carbone** se sont accélérés ces dernières années, mais seules quelques installations sont cependant en service dans l'Union. La France, l'Allemagne et les Pays-Bas sont les chefs de file en ce qui concerne les investissements publics et privés dans la R&I et les entreprises qui déposent le plus de brevets. Le développement du captage, de l'utilisation et du stockage du carbone se heurte encore à certains obstacles, principalement pour ce qui est de la mise en œuvre de la réglementation²⁵³, des aspects économiques, des risques et des incertitudes, et de l'acceptation par le public. Onze projets de captage et de stockage du carbone et de captage et d'utilisation du carbone à grande échelle ont été sélectionnés pour bénéficier du soutien de l'Union dans le cadre du Fonds pour l'innovation.

La **bioénergie**²⁵⁴ représente actuellement près de 60 %²⁵⁵ de l'offre d'énergie renouvelable dans l'Union. La bioénergie reste importante pour la transition des secteurs énergétiques de plusieurs États membres, car elle contribue à décarboner l'économie tout en renforçant la sécurité et la diversification énergétiques. Compte tenu de l'augmentation prévue de la biomasse, il est important que l'Union veille à ce que la bioénergie soit produite et utilisée de manière durable, et évite les effets négatifs sur la biodiversité et les puits et stocks de carbone. La proposition de révision de la directive sur les énergies renouvelables comprend des critères de durabilité plus stricts pour la bioénergie et introduit une obligation pour les États membres d'appliquer le principe de l'utilisation en cascade dans leurs mécanismes de soutien financier. Le biométhane produit de manière durable, notamment à partir de déchets et de résidus organiques, peut contribuer à l'objectif du plan REPowerEU de réduire la dépendance de l'Union à l'égard des combustibles fossiles importés. L'obligation de collecter séparément les déchets organiques d'ici à 2024 représente une perspective importante de développement de la production durable de biogaz dans les années à venir. La bioénergie permet une production d'électricité flexible, équilibrant le réseau électrique et jouant un rôle

²⁵² https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste_en

²⁵³ Par exemple, la ratification du protocole de Londres.

²⁵⁴ Motola, V. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Bioenergy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Commission européenne, 2022, JRC130730.

²⁵⁵ Ce chiffre inclut les biocarburants, qui représentent environ 7 %.

essentiel pour permettre une part élevée d'énergies renouvelables variables, telles que l'éolien et le solaire, dans les réseaux électriques.

Avec 103 réacteurs de puissance (101 GWe) dans l'Union en 2022, **l'énergie nucléaire** produit environ un quart de l'électricité de l'Union, et fournit environ 40 % de l'électricité bas carbone de l'Union²⁵⁶. Aux côtés des énergies renouvelables, l'énergie nucléaire est incluse dans le plan stratégique à long terme de l'Union pour une économie neutre pour le climat d'ici à 2050. Le plan REPowerEU souligne en outre le rôle de l'hydrogène d'origine nucléaire dans la substitution du gaz naturel pour la production d'hydrogène non fossile. La contribution potentielle du nucléaire au futur bouquet énergétique sobre en carbone repose sur la recherche et l'innovation visant à mettre au point des technologies nucléaires toujours plus sûres et plus propres (qu'elles soient conventionnelles ou avancées). Plusieurs services publics et organismes de recherche d'au moins sept États membres de l'Union ont manifesté leur intérêt pour les nouveaux petits réacteurs nucléaires modulaires²⁵⁷ (PRM), en les associant à la production décarbonée d'électricité et d'énergie non électrique, comme le chauffage industriel et urbain et la production d'hydrogène. Les acteurs industriels et étatiques intéressés de l'Union sont à l'origine d'un processus visant à mettre en place un modèle industriel européen pour le déploiement des PRM au début des années 2030.

4. CONCLUSION

Le développement et le déploiement rapides des technologies énergétiques propres dans l'Union sont essentiels pour apporter une réponse rentable, respectueuse du climat et socialement équitable à la crise énergétique actuelle.

Afin de réagir à la hausse sans précédent des prix de l'énergie, l'Union a rapidement proposé un ensemble de mesures qui **protégera les consommateurs et les entreprises**, notamment les ménages vulnérables et les acteurs du secteur des technologies énergétiques propres, tout en garantissant la réalisation des objectifs en matière de climat et d'énergie pour 2030 et 2050.

Parallèlement, l'Union devrait poursuivre ses efforts afin de **réduire sa dépendance à l'égard des matières premières et diversifier efficacement ses sources d'approvisionnement**, car la flambée de leurs prix a de graves conséquences sur la compétitivité des technologies énergétiques propres. La loi européenne sur les matières premières critiques annoncée²⁵⁸ vise à contribuer à la réalisation de ces ambitions. L'Union doit également **approfondir la coopération internationale et remédier à la pénurie de main-d'œuvre qualifiée** dans les différents segments des technologies énergétiques propres, tout en garantissant un environnement équilibré et égalitaire entre les hommes et les femmes. La proposition de faire de 2023 l'Année européenne des compétences représente un pas en avant vers l'augmentation du nombre de travailleurs qualifiés.

²⁵⁶ Association mondiale des exploitants de centrales nucléaires, *Nuclear Power in the European Union*, tableau «EU nuclear power», site web consulté le 14 octobre 2022.

²⁵⁷ Commission européenne, *Small Modular Reactors and Medical Applications of Nuclear technologies*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2022.

²⁵⁸ Comme l'a annoncé la présidente de la Commission européenne dans son discours sur l'état de l'Union le 14 septembre 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/SPEECH_22_5493.

Il est essentiel d'**accroître les investissements publics et privés dans la recherche et l'innovation en matière d'énergies propres, ainsi que dans le déploiement à grande échelle et à un coût abordable**. Les cadres réglementaires et financiers de l'Union ont un rôle crucial à jouer à cet égard. Conjointement à la mise en œuvre du nouveau programme européen d'innovation, les programmes de financement de l'Union, la **coopération renforcée** entre les États membres et un **suivi continu des activités nationales de R&I** sont essentiels afin de concevoir un écosystème de R&I européen efficace et de combler l'écart entre la recherche et l'innovation, d'une part, et l'adoption par le marché de l'autre, renforçant ainsi la compétitivité de l'Union.

Le présent rapport confirme²⁵⁹ que **l'Union est restée à la pointe de la recherche dans le secteur des énergies propres** et que les investissements dans la R&I ne cessent d'augmenter (bien qu'ils soient inférieurs aux niveaux d'avant la crise financière). Au niveau mondial, l'Union continue d'occuper une position dominante en ce qui concerne les inventions «vertes» et les brevets de haute valeur, étant donné qu'elle est le premier déposant de demande de brevet au monde dans les domaines du climat et de l'environnement (23 %), de l'énergie (22 %) et des transports (28 %). La part mondiale de l'Union dans les publications scientifiques a diminué, mais les scientifiques de l'Union collaborent et publient au niveau international dans le domaine des énergies propres à un rythme bien supérieur à la moyenne mondiale. En outre, l'Union affiche un niveau plus élevé de collaboration entre le secteur public et le secteur privé.

Le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée brute du secteur des énergies renouvelables de l'Union ont continué d'augmenter depuis 2019, et la production dans l'Union de la plupart des technologies et solutions en matière d'énergies propres a affiché la même tendance en 2021. Bien que l'Union ait maintenu une balance commerciale positive pour un certain nombre de technologies, comme l'éolien, son déficit commercial s'est accru pour d'autres, comme les pompes à chaleur, les biocarburants et le solaire photovoltaïque. Cette tendance générale est en partie due à la demande croissante de l'Union pour ces technologies.

En ce qui concerne certaines technologies énergétiques propres, le rapport montre que le secteur **éolien** de l'Union continue d'occuper une position dominante au niveau mondial dans les domaines de la R&I et des brevets de haute valeur en 2022, et maintient une balance commerciale positive. La concurrence reste toutefois vive et le secteur de l'éolien devra surmonter le contexte défavorable actuel, notamment en raison de la demande mondiale croissante de matériaux à base de terres rares et des perturbations de la chaîne d'approvisionnement. Le secteur devra doubler sa capacité d'installation annuelle actuelle afin d'atteindre les objectifs du plan REPowerEU. L'Union a également confirmé sa position en 2022 en tant que l'un des plus grands marchés pour le **photovoltaïque**, ainsi qu'un fort potentiel d'innovation, notamment dans les technologies photovoltaïques émergentes. Du point de vue de la chaîne de valeur, l'Union reste à la traîne de l'Asie, avec une forte dépendance à l'égard de plusieurs composants essentiels. Les solutions innovantes et les progrès technologiques constants offrent des possibilités supplémentaires de déploiement dans l'Union.

²⁵⁹ Comme dans l'édition précédente: COM(2021) 952 final et SWD(2021) 307 final («Progrès réalisés en matière de compétitivité des énergies propres»).

L'Union est à la croisée des chemins pour plusieurs technologies. Plusieurs défis doivent encore être relevés pour les exploiter pleinement. Le secteur des **pompes à chaleur** devra accélérer son déploiement, qui progresse déjà rapidement, et garantir l'accessibilité financière des systèmes (en particulier pour les ménages à faibles revenus et les PME), et les fournisseurs de l'Union devront augmenter leur production afin de maintenir leur part de marché par rapport aux pays tiers. En ce qui concerne la **production de batteries**, l'Union est en passe de devenir presque autosuffisante d'ici à 2030, mais le manque de matières premières d'origine nationale et de capacités de production de matériaux avancés continue de poser problème. Il convient d'accorder davantage d'attention au renforcement des capacités de recyclage et à l'établissement de capacités technologiques en matière de stockage à moindre coût/à plus long terme. En ce qui concerne la **production d'hydrogène par électrolyse**, l'Union bénéficie de sa solide approche globale pour attirer la demande et stimuler l'offre. La position de l'Union dans la chaîne de valeur varie (par exemple, elle est chef de file dans le domaine des électrolyseurs à oxyde solide, mais n'est pas compétitive dans le domaine des électrolyseurs alcalins). La flambée des prix de l'électricité et la dépendance à l'égard de matières premières critiques sont quelques-uns des principaux défis à relever. L'Union est clairement le numéro un du marché en ce qui concerne les usines commerciales opérationnelles de **carburants renouvelables** et les innovations de grande valeur. Bien que la production installée et prévue pour 2030 soit limitée, les carburants renouvelables peuvent contribuer à tous les objectifs de réduction des émissions du paquet «Ajustement à l'objectif 55», si certains risques techniques et économiques sont surmontés. L'innovation dans l'**infrastructure énergétique numérique** de l'Union sera essentielle pour garantir que le réseau électrique est adapté au futur système énergétique. La demande de systèmes domestiques de gestion de l'énergie et de systèmes de recharge intelligents des VE décolle et devrait croître, et le déploiement d'un système de compteurs intelligents progresse dans l'Union (bien qu'à un rythme plus lent que prévu).

Dans l'ensemble, malgré les tendances positives prometteuses observées dans l'écosystème de l'innovation de l'Union, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour s'attaquer aux obstacles structurels et aux défis sociétaux qui freinent les jeunes entreprises et les entreprises spécialisées dans les technologies climatiques implantées dans l'Union plus que dans les autres grandes économies. Pour exploiter son potentiel et devenir un leader mondial dans les domaines des technologies climatiques et de la «deep tech», l'Union doit tirer parti de la diversité de ses talents, de son capital intellectuel et de ses capacités industrielles, et inciter les investisseurs privés à participer plus activement au financement des jeunes entreprises spécialisées dans les technologies climatiques et à fort contenu technologique.

La Commission continuera de suivre les progrès du secteur des énergies propres et de développer sa méthodologie et sa collecte de données en coopération avec les États membres et les parties intéressées. Dans ce contexte, la Commission actualisera sa méthode fondée sur des données probantes pour les prochaines éditions du rapport sur les progrès réalisés en matière de compétitivité. Cela permettra d'éclairer les décisions politiques et contribuera à rendre l'Union compétitive, économe en ressources, résiliente, indépendante et neutre pour le climat d'ici à 2050.

ANNEXE I: CADRE METHODOLOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DE LA COMPETITIVITE DE L'UNION²⁶⁰

Partie 1: Compétitivité globale du secteur des énergies propres de l'Union	Partie 2: Technologies et solutions en matière d'énergies propres		
Analyse macroéconomique (agrégée, par EM et par technologie propre)	1. Analyse des technologies – Situation actuelle et perspectives	2. Analyse de la chaîne de valeur du secteur des technologies énergétiques	3. Analyse du marché mondial
<p align="center">Évolutions récentes</p> <ul style="list-style-type: none"> - prix et coûts de l'énergie: évolution récente - défis de la durabilité et de la circularité des technologies énergétiques propres; dépendance du secteur européen des énergies propres de l'Union à l'égard des matières premières critiques et incidence sur la compétitivité de l'Union; - incidences de la COVID-19 et reprise; - capital humain et compétences. 	<p align="center">Capacités installées, production (aujourd'hui et en 2050)</p>	<p align="center">Chiffre d'affaires</p>	<p align="center">Commerce (importations, exportations)</p>
<p align="center">Tendances en matière de recherche et d'innovation</p> <ul style="list-style-type: none"> - investissements publics et privés dans la R&I; - dépôts de brevets et brevets de haute valeur UE et par EM. 	<p align="center">Coût/coût actualisé de l'énergie (LCoE)²⁶¹ (aujourd'hui et en 2050)</p>	<p align="center">Croissance de la valeur ajoutée brute Variation annuelle (en %)</p>	<p align="center">Comparaison des acteurs dominants sur le marché mondial et sur le marché de l'Union (parts de marché)</p>
<p align="center">Le paysage mondial concurrentiel des énergies propres</p>	<p align="center">Financement public de la R&I (EM et UE)</p>	<p align="center">Nombre d'entreprises présentes dans la chaîne d'approvisionnement, y compris les acteurs dominants du marché de l'Union</p>	<p align="center">Efficacité de l'utilisation des ressources et dépendance vis-à-vis de celles-ci²⁶²</p>
<p align="center">Le paysage du financement de l'innovation dans l'Union (par rapport aux grandes économies)</p>	<p align="center">Financement privé de la R&I</p>	<p align="center">Emploi dans le segment de la chaîne de valeur</p>	
<p>Le rôle du changement systémique dans le secteur des énergies propres (par exemple, la numérisation, les bâtiments, les communautés énergétiques et la coopération)</p>	<p align="center">Tendances en matière de brevets (y compris les brevets de haute valeur)</p>	<p align="center">Intensité énergétique/productivité de la main-d'œuvre</p>	

²⁶⁰ L'évaluation a été réalisée en étroite collaboration avec l'Observatoire des technologies énergétiques propres de la Commission européenne: les informations de la partie 1 sont extraites de Georgakaki, A. et al, *Clean Energy Technology Observatory: Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report*, Commission européenne, 2022, JRC131001. Pour la partie 2, les rapports individuels sur les technologies sont disponibles à l'adresse suivante: https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

²⁶¹ Et – si disponible – coût actualisé du stockage (LCoS).

²⁶² Segments de la chaîne de valeur qui dépendent des matières premières critiques.

infranationale).			
	Niveau des publications scientifiques	Production communautaire Valeurs annuelles de la production	