



La centrale solaire de Labarde est située sur la commune de Bordeaux. Avec une puissance installée de 59 MW, c'est la plus grande centrale solaire urbaine d'Europe.

PHOTO: PRODUCTIONS

195 413,2 MWac

la capacité photovoltaïque cumulée
dans l'Union européenne fin 2022

BAROMÈTRE PHOTOVOLTAÏQUE

Une étude réalisée par EurObserv'ER.



L'énergie solaire photovoltaïque n'en finit pas de rayonner. Les premières estimations de la puissance maximale nette raccordée dans le monde durant l'année 2022 font état d'au moins 191,5 GWac (ac pour courant alternatif), portant la puissance mondiale à au moins 1 046,6 GWac à fin 2022. La solarisation du mix électrique mondial est en train de s'accélérer en cohérence avec la montée en puissance des capacités industrielles de production de modules, ainsi que celles du stockage électrochimique. Quant à l'Union européenne, elle tutoie de nouveau les sommets avec au moins 32,8 GWac de puissance maximale nette raccordée en 2022 et 195,4 GWac de puissance cumulée. La production d'électricité solaire de l'UE, qui a bénéficié d'un ensoleillement record en 2022, est en augmentation de 29,6 % par rapport à 2021 (+ 46,9 TWh), soit une production cumulée de 205,2 TWh en 2022.

205,2 TWh

La production d'électricité photovoltaïque
dans l'Union européenne en 2022

32 818,6 MWac

La puissance photovoltaïque installée
dans l'Union européenne durant l'année 2022



Il n'est pas si loin, le temps où la puissance mondiale photovoltaïque n'augmentait que de quelques dizaines de mégawatts chaque année, 90 MW en 1996 selon l'éditorialiste américain visionnaire Paul Maycock, éditeur de *PV News*, une newsletter mensuelle créée en 1981 qui visait à tracer la production mondiale photovoltaïque et ses marchés. Ces 90 MW comprenaient alors 43 MW d'applications industrielles décentralisées (téléphonie, système GPS...), 22 MW de biens

Centrale solaire flottante située à Peyrolles-en-Provence, dans les Bouches-du-Rhône. D'une puissance de 12 MW, elle est posée sur le site d'une ancienne gravière en eau désaffectée. Cette centrale de 12 hectares constituée de 43 000 panneaux photovoltaïques a été installée par ancrage sur le fond du plan d'eau.



BORALEX

de consommation divers (calculatrices, montres solaires, chargeurs de batterie...), 15 MW de systèmes utilisés dans les pays en développement dans le cadre de l'électrification rurale décentralisée (lampes et réfrigérateurs solaires, pompes pour le maraîchage) et seulement 10 MW de systèmes connectés au réseau, bien aidés par la mise en œuvre du programme japonais en 1994 de 70 000 toits solaires. Les systèmes connectés au réseau allaient rapidement devenir le principal moteur de la croissance mondiale avec la mise en œuvre en juin 1997 du programme solaire américain The Million Solar Roofs Initiative (objectif pour 2010), suivi du programme des 100 000 toits solaires en Allemagne démarré le 1^{er} janvier 1999, objectif réalisé en à peine quatre ans. Vingt-trois ans plus tard, le solaire photovoltaïque (à côté des autres technologies propres comme

l'éolien, le biogaz, les pompes à chaleur, les électrolyseurs, les batteries lithium et sodium, les véhicules électriques) est devenu un des principaux « *game changers* » du système électrique mondial. Ce constat a récemment été rappelé par Fatih Birol, directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans une tribune publiée dans le *Financial Times* du 13 avril 2023 intitulée « *Clean energy is moving faster than you think* ». Dans cette tribune, il déclare qu'au cours des deux dernières années, le déploiement mondial de l'électricité solaire a été suffisamment rapide pour s'aligner pleinement sur le rythme envisagé dans la trajectoire ambitieuse de l'AIE vers des émissions nettes nulles d'ici 2050. Il explique encore que dans les systèmes énergétiques, l'inertie est une force extrêmement puissante, un défi majeur pour les efforts de transition des

économies vers l'énergie propre et la lutte contre le changement climatique, mais que la crise actuelle de la sécurité énergétique a montré comment les chocs peuvent faire sortir les systèmes de leur inertie. Les efforts de la Russie pour obtenir un avantage politique et économique en faisant grimper les prix de l'énergie ont suscité une réaction majeure des gouvernements – pas seulement dans l'UE mais dans de nombreux pays du monde – pour accélérer le déploiement d'alternatives plus propres et plus sûres. Les effets, selon lui, se précisent de jour en jour. Il y a six mois, l'AIE a montré que les répercussions de la guerre en Ukraine refaçonnaient l'avenir de l'énergie mondiale, avec un pic de la demande de combustibles fossiles clairement visible pour la première fois et qui devrait se produire avant la fin de la décennie en cours.

LE SEUIL DU TÉRAWATT DÉPASSÉ EN 2022 DANS LE MONDE

Quelques chiffres montrent que la mutation du système électrique mondial est bien en phase d'accélération et que l'énergie solaire semble devoir tenir le premier rôle. Selon l'IRENA, l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, la puissance mondiale solaire photovoltaïque cumulée à la fin de

l'année 2022, telle que comptabilisée par les organismes internationaux (c'est-à-dire la puissance maximale nette pouvant être délivrée sur le réseau en courant alternatif ajoutée à la puissance raccordée hors réseau) a franchi le seuil du térawatt installé (1 046,6 GWac), en partant de 855,2 GWac en 2021. Plus de la moitié de la puissance solaire photovoltaïque se situe en Asie (57 % en 2022), 21,5 % en Europe, 11,9 % en Amérique du

Tabl. n° 1

Puissance solaire photovoltaïque* installée et cumulée dans l'Union européenne fin 2021 et 2022** (en MW)

	Puissance cumulée 2021	Puissance cumulée 2022	Installée durant l'année 2022
Allemagne	60 108,0	67 399,0	7 304,0
Italie	22 594,3	25 060,0	2 490,0
Pays-Bas	14 910,7	18 849,0	3 938,3
Espagne	13 715,2	17 195,0	3 480,2
France	14 810,4	17 168,9	2 385,0
Pologne	7 415,5	12 189,1	4 773,6
Belgique	6 012,4	6 490,0	477,6
Grèce	4 277,4	5 270,0	992,6
Hongrie	2 968,0	4 056,0	1 088,0
Autriche	2 782,6	3 791,7	1 009,1
Danemark	1 704,0	3 069,9	1 365,9
Portugal	1 701,0	2 563,0	868,0
Tchéquie	2 246,1	2 535,0	288,9
Suède	1 600,7	2 404,5	803,8
Bulgarie	1 274,7	1 726,0	451,3
Roumanie	1 393,9	1 414,0	20,1
Slovénie	461,2	632,0	170,8
Finlande	425,0	591,0	166,0
Lituanie	255,0	572,0	317,0
Slovaquie***	537,0	537,0	0,0
Estonie	394,8	506,0	111,2
Chypre	314,5	464,0	149,5
Luxembourg	276,0	317,0	41,0
Malte***	205,7	205,7	0,0
Croatie	138,3	182,0	43,7
Irlande	135,3	169,5	34,2
Lettonie	7,2	56,0	48,8
Total EU 27	162 664,8	195 413,2	32 818,6

* Puissance électrique maximale nette, hors réseau inclus. ** Estimation. Note : 6 MW démantelés au Portugal, 26,5 MW en France, 24,3 MW en Italie, 13 MW en Allemagne, 0,5 MW en Espagne. *** donnée nationale non disponible. Source IRENA utilisée. Source : *EurObserver* 2023.

Nord et 9,5 % dans le reste du monde. La puissance maximale nette supplémentaire a ainsi été de 191,5 GWac entre 2021 et 2022, en augmentation de 35,5 % par rapport à 2021 (141,2 GWac supplémentaires en 2021). L'Asie a représenté 58,5 % de la puissance solaire photovoltaïque mondiale supplémentaire, l'Europe, 19,7 % et l'Amérique du Nord, 10,1 %. Les autres régions du monde représentent 11,8 % de la puissance supplémentaire. Parmi elles, l'Amérique du Sud (6,3 %), l'Océanie dont l'Australie (2,1 %), le Moyen-Orient (1,7 %), l'Eurasie dont la Russie et la Turquie (1 %), l'Afrique (0,5 %)

et l'Amérique centrale et Caraïbes (0,2 %). Il convient de préciser que l'indicateur de puissance électrique maximale nette (en courant alternatif) est l'indicateur utilisé par les organismes statistiques officiels nationaux et internationaux, comme Eurostat et l'AIE, pour comparer l'évolution des puissances électriques des différentes filières de production. La puissance électrique maximale nette (PEMN) fait référence à la quantité maximale d'électricité qui peut être produite en un an pour une ressource donnée, en supposant que toutes les centrales produisent de l'électricité à capacité

maximale 24 h/24 h, 365 jours par an. Cet indicateur est différent de celui de la puissance nominale des panneaux photovoltaïques en courant continu (également exprimé en watt crête) qui exprime la puissance de sortie maximale théorique des installations photovoltaïques. L'indicateur de puissance maximale nette exprimée en courant alternatif prend en compte la perte de puissance due à la conversion du courant continu en courant alternatif et des règlements qui limitent la puissance de sortie des installations photovoltaïques sur le réseau. Il présente l'intérêt d'être en phase avec la production d'électricité réelle.

Les indicateurs de puissance nominale en courant continu (GWdc ou GWc), sont généralement utilisés par les fabricants, les associations professionnelles comme SolarPower Europe et certaines organisations internationales comme l'AIE PVPS. À titre de comparaison, l'aperçu *Snapshot of Global PV Market 2023*, publié par l'AIE-PVPS, indique une puissance mondiale cumulée de l'ordre de 1 185 GWc avec 240 GWc de nouveaux systèmes installés (dont 106 GWc rien qu'en Chine) à comparer aux 175 GWc de nouveaux systèmes installés en 2021 (dont 54,9 GWc rien qu'en Chine). Il n'existe pas de norme internationale permettant de convertir la puissance solaire en courant continu en puissance de sortie de l'onduleur. Selon l'AIE PVPS, la plupart des centrales à grande échelle construites en 2022 ont un rapport AC-DC compris entre 1,1 et 1,6. L'AIE PVPS précise également que certaines réglementations du réseau limitent les injections à 70 % de la puissance crête des systèmes photovoltaïques résidentiels installés ces dernières années.

L'IRRÉSISTIBLE DÉVELOPPEMENT DU SOLAIRE CHINOIS

En 2022, la Chine a considérablement augmenté sa puissance solaire photovoltaïque installée. Selon un communiqué de presse du 17 février 2022 de la NEA (National Energy Administration), le pays a raccordé une nouvelle capacité au réseau de 87,4 GWac (+59,3 % par rapport à 2021), dont 36,3 GWac de photovoltaïque centralisé (+41,8 % par rapport à 2021) et 51,1 GWac de solaire distribué (+74,5 % sur un an). Ces installations supplémentaires portent la

Tabl. n° 2

Production brute d'électricité d'origine photovoltaïque dans l'Union européenne en 2021 et 2022* (en TWh)

	2021	2022
Allemagne	49,340	60,787
Espagne	21,992	29,617
Italie	25,039	28,100
France	15,732	20,607
Pays-Bas	11,495	17,650
Pologne	3,934	8,008
Belgique	5,618	7,062
Grèce	5,251	7,047
Hongrie	3,796	4,649
Autriche	2,783	3,791
Portugal	2,237	3,471
Tchéquie	2,316	2,614
Danemark	1,309	2,181
Bulgarie	1,467	2,023
Suède	1,120	1,963
Roumanie	1,703	1,772
Slovaquie	0,671	0,700
Slovénie	0,453	0,601
Chypre	0,468	0,506
Estonie	0,354	0,506
Finlande	0,298	0,381
Lituanie	0,191	0,317
Malte	0,256	0,267
Luxembourg	0,180	0,208
Croatie	0,149	0,192
Irlande	0,093	0,108
Lettonie	0,007	0,027
Total EU 27	158,252	205,156

* Estimation. Note : pour la Suède, les données de 2021 ont été consolidées par Statistics Sweden à partir des données de production mensuelles et un nouveau modèle qui calcule l'autoconsommation. Source : EuroObserv'ER 2023.



INTERSECT POWER

Le projet Athos III solaire + stockage, également connu sous le nom de Blythe Mesa, a été entièrement mis en ligne au quatrième trimestre 2022. Ce projet californien de 224 MW solaires + 112 MW/448 MWh de stockage a été développé par Intersect Power.

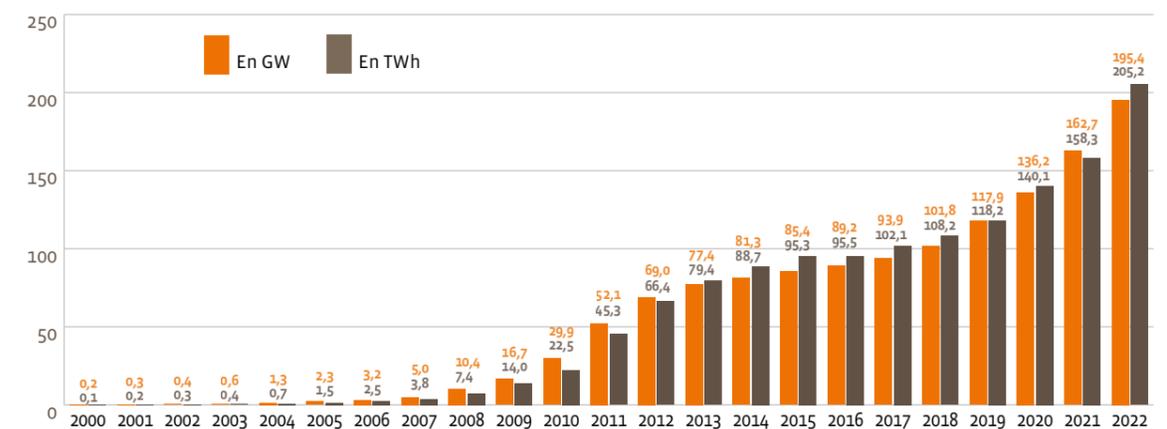
puissance solaire photovoltaïque cumulée raccordée au réseau de la Chine à 392 GWac (234,4 GWac centralisés et 157,6 GWac distribués). Pour rappel, le solaire centralisé regroupe les systèmes de production d'énergie photovoltaïque

à grande échelle au sol et le solaire distribué regroupe les systèmes de génération d'énergie photovoltaïque sur les toits des bâtiments industriels ou sur les toits résidentiels. Selon le rapport d'analyse et de prévision de la situation de l'offre et de la demande d'électricité de 2023, publié par le Conseil chinois de l'électricité, d'ici la fin de l'année 2023, la puissance nationale d'énergie solaire connectée au réseau atteindra 490 GW et la capacité d'énergie solaire dépassera pour la première fois la capacité nationale de l'hydroélectricité en 2023.

L'Association chinoise de l'industrie photovoltaïque (CPIA) indique pour sa part que la capacité d'énergie solaire en Chine pourrait afficher une croissance comprise entre 95 et 120 GW en 2023. L'association précise que la croissance du marché chinois reste contrainte par certains obstacles comme l'obligation imposée par certains gouvernements locaux d'installer un stockage d'énergie à côté des fermes solaires, et des restrictions sur l'utilisation des terres et

Graph No. 1

Évolution de la puissance photovoltaïque installée* (en GW) et de la production brute d'électricité photovoltaïque (en TWh) de 2000 à 2022** dans l'Union européenne à 27



* Puissance électrique maximale nette. ** Estimation. Sources : Eurostat (années 2000-2020), EuroObserv'ER (années 2021 et 2022).

de l'eau dans le cadre des efforts croissants de Pékin pour protéger les terres agricoles. Ces obligations expliquent la montée en puissance du marché du stockage stationnaire en Chine. Selon la NEA, la capacité des nouveaux types de projets de stockage stationnaire d'énergie entrés en service en 2022 est passée à 8,7 GW, soit une augmentation de 100 % par rapport à 2021. Sur le plan de la production, la NEA a indiqué, sans les distinguer, que la production d'énergie éolienne et photovoltaïque de la Chine a dépassé pour la première fois 1 000 milliards de kWh, atteignant 1 190 milliards de kWh (1 190 TWh), soit une augmentation de 207,3 TWh par rapport à 2021 (croissance annuelle de 21 %). Selon les calculs de Bloomberg, la production solaire et éolienne est maintenant presque suffisante pour alimenter chaque foyer chinois.

LE COUPLAGE SOLAIRE/STOCKAGE S'ÉTEND AUX ÉTATS-UNIS

Selon l'IRENA qui s'appuie sur des premières estimations officielles, la puissance électrique maximale nette supplémentaire aux États-Unis serait

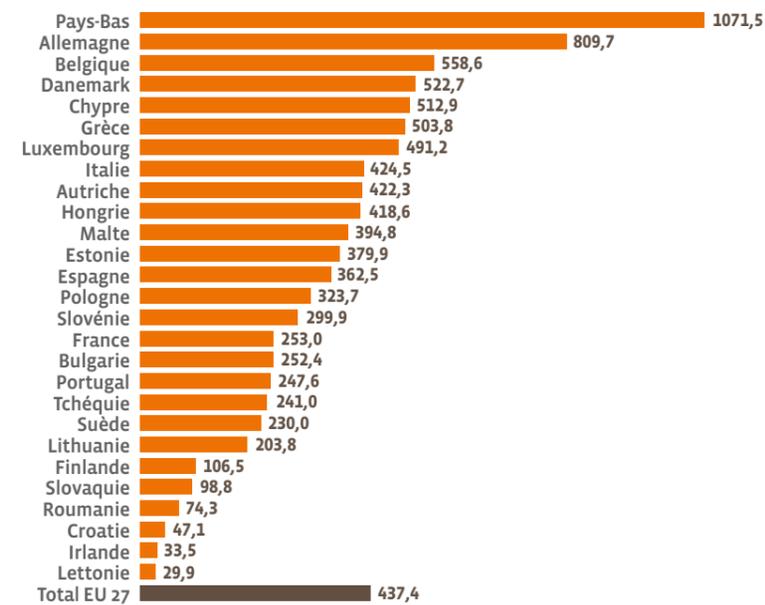
de 17,6 GWac en 2022 (+19,2 GWac en 2021, soit une baisse de 8,3 % entre 2022 et 2021), ce qui porterait la puissance cumulée solaire photovoltaïque du pays à 111,5 GWac. Ces chiffres, pour les raisons expliquées plus haut, sont en décalage avec ceux de la Solar Energy Industries Association (SEIA), exprimés en courant continu. Dans son rapport annuel, l'association estime la puissance supplémentaire installée à 20,2 GWdc en 2022 (en diminution de 16 % par rapport à 2021), soit un total cumulé fin 2022 de 142,3 GWdc. Selon la SEIA, l'énergie solaire a représenté 50 % de toute la nouvelle capacité de production d'électricité aux États-Unis en 2022. Le solaire résidentiel a connu une année record avec près de 6 GWdc d'installations, soit une croissance de 40 % par rapport à 2021. Les autres segments de marché ont connu des baisses en raison d'importants défis de la chaîne d'approvisionnement. L'énergie solaire à grande échelle (« utility scale ») en particulier a chuté de 31 % par rapport à l'année précédente. Malgré ces défis, l'adoption de la loi sur la réduction de l'inflation (Inflation Reduction Act, IRA) a créé une hausse

significative des prévisions solaires à long terme en garantissant une visibilité à quinze ans pour les industriels. Au cours des dix prochaines années, la SEIA estime que l'industrie solaire des États-Unis croîtra cinq fois plus qu'aujourd'hui, pour atteindre un parc solaire total de plus de 700 GWdc d'ici 2033. Une autre information est la montée en puissance aux États-Unis du stockage stationnaire, « utility-scale battery storage ». Selon le rapport du quatrième trimestre de l'association American Clean Power, 4 027 MW de projets de systèmes de stockage « utility storage » ont été installés en 2022, répartis en 88 projets (48 couplés avec du solaire ou de l'éolien et 40 seuls), soit un total cumulé de 9 054 MW (pour une capacité de stockage de 25 195 GWh). Le projet de stockage Crimson Battery Storage, qui fait partie du projet Crimson Solar + Storage de Recurrent Energy, a été le plus grand projet de stockage par batteries mis en service en 2022 en termes de capacité en MW et MWh. Ce système de batterie lithium-ion de 350 MW a une durée de stockage de quatre heures et une capacité totale de stockage d'énergie de 1 400 MWh. La puissance des systèmes hybrides solaires couplés à du stockage est en forte augmentation. En 2022, pas moins 10 230 MW de projets hybrides solaire/stockage ont été connectés ; 2 740 MW l'ont été partiellement et 30 276 MW étaient en cours d'inscription (soit un total de 43 245 MW de systèmes hybrides solaire/stockage). À titre d'exemple, le projet Athos III solaire + stockage, également connu sous le nom de Blythe Mesa, a été entièrement mis en service au quatrième trimestre 2022. Ce projet californien de 224 MW solaires + 112 MW/448 MWh de stockage a été développé par Intersect Power. De son côté, Terra-Gen construit actuellement en Californie le plus grand projet mondial de système solaire couplé à du stockage, à savoir le projet Edwards & Sanborn Solar and Energy Storage. Il disposera en 2023 d'une puissance solaire photovoltaïque de 1 118 MW et de 2 165 MWh de stockage d'énergie.

Le podium des 3^e, 4^e et 5^e places (Japon avec 78,8 GWac, Allemagne avec 67,4 GWac et Inde avec 62,8 GWac) devrait

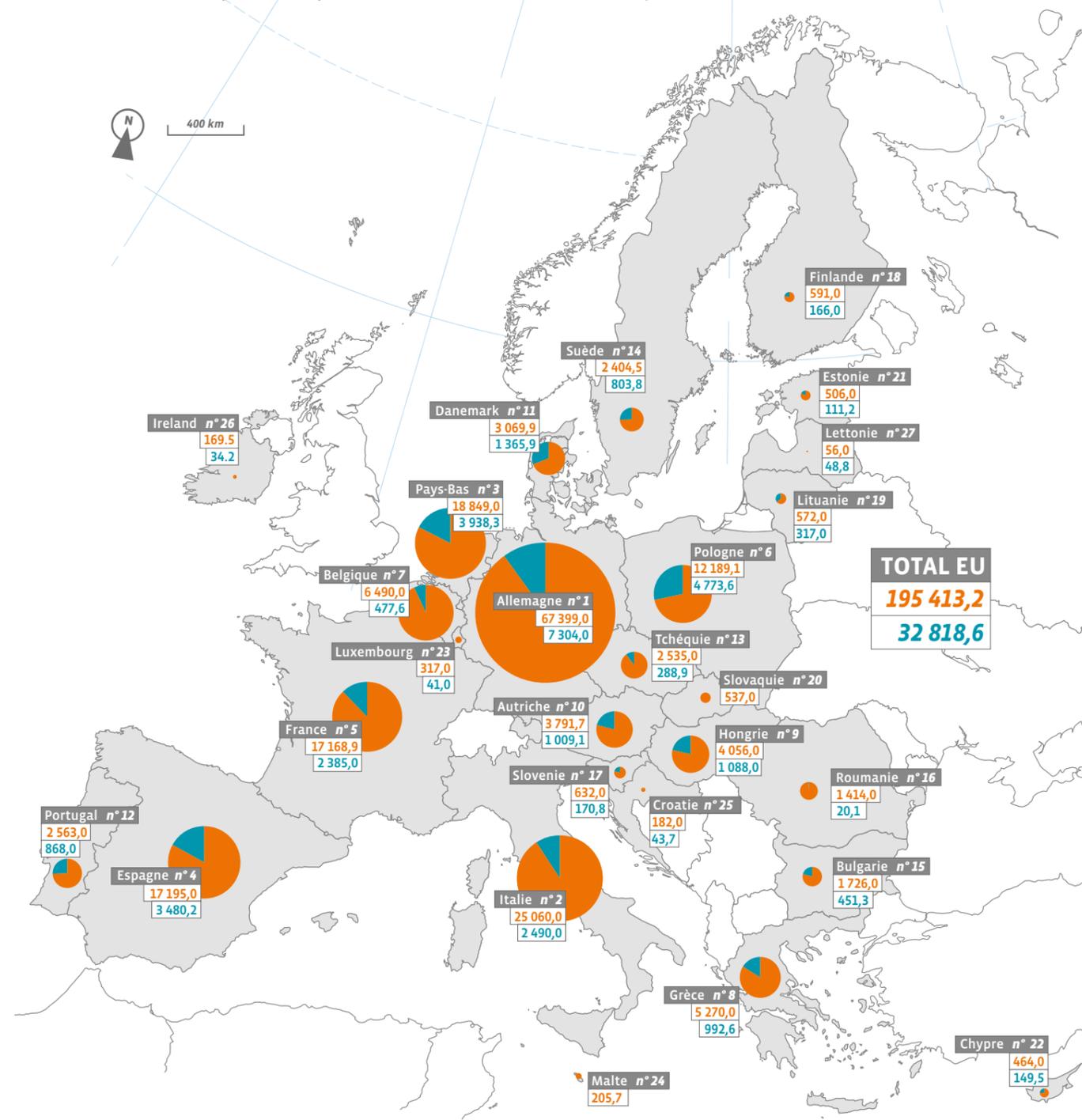
Graph No. 2

Puissance photovoltaïque par habitant des différents pays de l'Union européenne en 2022 (watt/hab)*



* Estimation. Source: EurObserv'ER 2023.

Puissance solaire photovoltaïque* installée et cumulée dans l'Union européenne fin 2022 (en MW)**



Légende

195 413,2 Puissance photovoltaïque cumulée dans l'UE à 27 à la fin de l'année 2022 (en MW). 32 818,6 Puissance photovoltaïque installée dans l'UE à 27 durant l'année 2022 (en MW).

* Puissance électrique maximale nette, hors réseau inclus. ** Estimation. Note : 6 MW démantelés au Portugal, 26,5 MW en France, 24,3 MW en Italie, 13 MW en Allemagne, 0,5 MW en Espagne. Source: EurObserv'ER 2023.



La Compagnie nationale du Rhône (CNR) a mis en service un démonstrateur de modules verticaux bifaciaux sur la digue de Sablons (Isère). Ce dernier est déployé sur 350 mètres avec une puissance installée de 104 kW. D'une hauteur de 3 mètres, ces panneaux sont plus résistants et plus étanches que ceux d'un parc au sol classique.

rapidement évoluer tant la dynamique de marché est favorable en Inde, qui est actuellement le cinquième pays sur le plan de la puissance installée cumulée. Selon l'IRENA, l'Inde a ajouté en 2022 une puissance nette maximale raccordée de 13,5 GWac contre 4,6 GWac supplémentaires pour le Japon et 7,3 GWac pour l'Allemagne (selon AGEE-Stat, voir plus loin). Selon le consultant JMK Research, l'Inde pourrait ajouter 16,8 GW en 2023, 14 GW de centrales au sol et 2,8 GW de toitures solaires.

L'UE LIBÈRE SON POTENTIEL ÉNERGIE SOLAIRE

2022 a été une belle année pour l'énergie solaire dans l'Union, peut-être la première où la filière solaire photovoltaïque

européenne a enfin pleinement pu donner tout son potentiel. Selon EurObserv'ER, qui s'appuie sur les premières estimations officielles disponibles (liste à la fin de ce baromètre), l'Union européenne a installé pas moins de 32,8 GWac durant l'année 2022, ce qui, déduit de la puissance mise hors service, porte la puissance électrique maximale raccordée à 195,4 GWac. La puissance raccordée supplémentaire entre 2021 et 2022 est en nette augmentation par rapport à celle de l'an dernier (+32,7 GWac entre 2022 et 2021, +26,5 GWac entre 2021 et 2020), soit une augmentation de 23,6 %. En termes de classement, l'Allemagne est toujours à l'avant-poste avec pas moins de 7,3 GWac raccordés en 2022. La Pologne a raccordé 4,8 GWac, les Pays-Bas,

Tabl. n°3

Projets d'extension et de création de capacités de production solaire photovoltaïque annoncés par des compagnies européennes* d'ici 2025

	Polysilicium solaire	Lingot et gaufre	Cellule solaire	Module solaire
Wacker	53 GW à partir de 2025 (+25,4)	-	-	-
NorSun	-	5 GW à partir de 2025 (+4) (lingot et gaufre)	-	-
Norwegian Crystal	-	4,1 GW à partir de 2025 (+3,6) (lingot)	-	-
Nexwafe	-	3 GW à partir de 2025 (+2,8) (gaufre)	-	-
Meyer Burger	-	-	4,2 GW à partir de 2025 (+3,8)	4,1 GW à partir de 2025 (+3,8)
Enel	-	-	3 GW à partir de 2024 (+2,8)	3 GW à partir de 2024 (+2,8)
Oxford PV	-	-	2 GW à partir de 2024 (+1,8)	2 GW à partir de 2024 (+1,8)
Valoe	-	-	0,1 GW à partir de 2024 (+0,1)	-
Voltec Solar	-	-	-	0,5 GW à partir de 2023 (+0,3)
SoliTek	-	-	-	0,6 GW à partir de 2023/2024 (+0,4)
SolarWatt	-	-	-	2 GW à partir de 2023 (+1,7)
FuturaSun	-	-	-	1 GW à partir de 2023 (+1)
CARBON**	-	5 GW à partir de 2025 (+5) (lingot et gaufre)	5 GW à partir de 2025 (+5)	3,5 GW à partir de 2025 (+3,5)
AstraSun Solar**	-	1,8 GW à partir de 2025 (+1,8) (lingot et gaufre)	1,8 GW à partir de 2025 (+1,8)	3,5 GW à partir de 2025 (+3,5)
MCPV**	-	-	5 GW à partir de 2025 (+5)	5 GW à partir de 2025 (+5)

*Liste non exhaustive. **Entreprises en démarrage. Source: D'après Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems IES; Intersolar Europe 2022



3,9 GWac et l'Espagne, 3,5 GWac. Suivent l'Italie (2,5 GWac) et la France (2,4 GW). Trois autres pays ont affiché un volume de raccordement supérieur au gigawatt : le Danemark (1,4 GWac), la Hongrie (1,1 GWac) et l'Autriche (1 GWac). La force actuelle du marché photovoltaïque de l'Union européenne est qu'il est désormais porté par une majorité de pays membres, la guerre d'agression lancée par la Russie ayant eu un effet accélérateur. Les bons résultats du marché européen s'expliquent par plusieurs facteurs. En premier lieu, les prix élevés de l'électricité sur les marchés de gros ont fortement renforcé l'attractivité financière de l'électricité solaire, et ce malgré la hausse des coûts de production de l'énergie solaire. La forte croissance de l'énergie solaire s'explique aussi par les tensions géopolitiques avec la Russie, qui ont conduit les Européens à mettre en place un important volet solaire dans le plan REPowerEU dont l'objet est de faire cesser la dépendance de l'UE à

l'égard des combustibles fossiles russes. La perception de l'énergie solaire photovoltaïque a également changé. Elle est vue comme une filière disposant de capacités de déploiement extrêmement rapides, sans équivalent pour réduire le plus rapidement possible la dépendance aux combustibles fossiles russes. Également, et contrairement à 2021, la demande a été beaucoup moins contrainte par les goulets d'étranglement dans les chaînes d'approvisionnement désormais totalement libérées des restrictions liées à la pandémie de Covid-19.

UN ENSOLEILLEMENT ET UNE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PV RECORDS DANS L'UE

Selon le rapport 2022 de l'European State of the Climate (ESOTC) du programme européen Copernicus, l'Europe a connu en 2022 sa durée d'ensoleillement la plus élevée jamais relevée (sur 40 ans) avec 130 heures d'ensoleillement de plus que la moyenne (31 heures d'ensoleillement

En mars 2023, une centrale solaire en autoconsommation sur toiture a été inaugurée sur le campus de l'université de Grenoble.

de plus que la moyenne en 2021). Ce record correspond à une tendance marquée vers plus d'heures d'ensoleillement. Sur les huit dernières années, cinq ont bénéficié d'un ensoleillement supérieur de 100 heures par rapport à la moyenne et aucune année n'a subi de déficit d'ensoleillement par rapport à la moyenne. Il faut même remonter à dix ans (2013) pour avoir un niveau d'ensoleillement (légèrement) inférieur à la moyenne. Cet ensoleillement exceptionnel, associé à la puissance installée en Europe, a conduit à des records de production d'électricité solaire au sein des pays de l'Union européenne. Selon EurObserv'ER, la production brute d'électricité solaire photovoltaïque a augmenté de 29,6 %

entre 2021 et 2022 pour atteindre 205,2 TWh, soit 46,9 TWh de plus qu'en 2021. La très grande majorité des pays a constaté des augmentations de production à deux chiffres. La Pologne, qui a fortement augmenté ses capacités de production en 2021 et 2022, est même parvenue à doubler son niveau de production en une année. La part de l'électricité solaire PV dans la production brute d'électricité totale est de plus en plus significative dans les pays de l'Union européenne. Aux Pays-Bas, le pays le plus solarisé d'Europe si l'on tient compte du nombre d'habitants, le solaire photovoltaïque a, selon Statistics Netherlands, représenté 15 % de la production d'électricité du pays en 2022 (9,4 % en 2021), un record en Europe et dans le monde. La part de l'électricité solaire a dépassé les 10 % en Allemagne (10,5 % en 2022, comparé à 8,4 % en 2021 selon l'AGEB, AG Energiebilanzen), Elle atteint même 13,1 % en Hongrie selon le MEKH (Hungarian Energy and Public Utility Regulatory Authority) contre 10,6 % en 2021. Selon EurObserv'ER, la part devrait être de l'ordre de 10,8 % en Espagne (9,9 % en 2021) et de 12,8 % en Grèce (9,6 % en 2021).

LES PAYS-BAS ET L'ALLEMAGNE AUX AVANT-POSTES

L'Allemagne vise 215 GW en 2030

En matière d'énergie solaire, l'Allemagne a toujours préféré regarder devant plutôt que derrière. Selon l'AGEE-Stat, le pays a raccordé pas moins de 7,3 GW en 2022 (6,4 GW en 2021), ce qui porte la puissance nette raccordée du pays à 67,4 GW fin 2022. En 2022, le pays représentait toujours plus du tiers de la puissance installée de l'Union européenne (34,5 %) et 22,3 % de la puissance totale raccordée dans l'Union européenne. Le rythme d'installation en 2023 va encore s'accélérer. Les premiers mois de l'année indiquent une augmentation de la puissance raccordée. Selon l'outil de suivi en ligne Energy-chart mis en place par le Fraunhofer ISE, le pays a déjà raccordé 2,7 GW en seulement trois mois, dont près d'1 GW (943,7 MW) sur le seul mois de mars. Sur le premier trimestre de l'année 2022, le pays avait installé un peu plus de 2 GW, dont 842,4 MW au mois de mars.

Le 6 avril 2022, le gouvernement a annoncé qu'il porterait son objectif d'énergie propre à 80 % dans le mix électrique à partir de 2030 contre 65 % précédemment, et

une part aux environs de 100 % en 2035. Cela signifie qu'un minimum de 600 TWh par an devra provenir des énergies renouvelables à cet horizon. La publication de la nouvelle loi énergie renouvelable, qui a pris effet au 1^{er} juillet 2022, a été accélérée du fait de l'invasion de l'Ukraine par la Russie. Selon le ministre de l'Économie et du Climat, Robert Habeck : « *Il s'agit du plus grand changement législatif en matière de politique énergétique depuis des décennies* ». La loi contient une clause qui identifie les énergies renouvelables comme étant dans l'intérêt de la sécurité publique. Les appels d'offres, qui ont parfois été sous-souscrits les années

précédentes, vont être considérablement augmentés. Pour le solaire photovoltaïque, ils passeront d'environ 6 GW en 2022 à 22 GW par an à partir de 2026 et ce jusqu'en 2035 au moins. Ce rythme de croissance amènerait la puissance photovoltaïque du pays à au moins 215 GW d'ici la fin de la décennie.

Concernant les résultats des appels d'offres, le dernier publié en mars 2023 a été largement sursouscrit avec 2,9 GW d'offres présentées pour un volume de 1,95 GW. La valeur d'attribution moyenne est en augmentation. Elle atteint 7,03 €/kWh (enchère la plus basse à 5,29 €/kWh et la plus haute de 7,30 €/kWh) avec un

Vattenfall a inauguré le 23 mars 2022 aux Pays-Bas l'Energypark Haringvliet, une centrale hybride combinant les technologies éolienne et solaire couplées à des batteries.

prix limité par l'appel d'offres à 7,37 €/kWh. Le prix moyen observé est en forte augmentation par rapport aux deux précédents résultats de l'année 2022 (5,80 €/kWh pour celui du 1^{er} novembre 2022 et 5,51 €/kWh pour celui du 1^{er} juin 2022). Ces augmentations s'expliquent à la fois par l'augmentation du prix des modules et par des augmentations du coût en capital qui a pris entre 2 et 3 points de plus du

fait de la hausse d'intérêt.

Un autre élément factuel concernant le marché allemand est la formidable accélération de la croissance du marché des batteries de stockage de l'énergie solaire. Selon BSW Solar (association allemande de l'énergie solaire), 214 000 nouvelles batteries ont été installées durant l'année 2022 (contre 141 000 en 2021 et 88 000 en 2020), portant le parc total de batteries à 627 000. Un autre vecteur de croissance du photovoltaïque devrait être la loi en préparation pour interdire les ventes de chaudières à gaz dès 2024, de quoi booster les ventes de systèmes combinant PAC, panneaux PV et systèmes de stockage.

Les Pays-Bas suppriment la TVA sur les panneaux photovoltaïques résidentiels

Les Pays-Bas peuvent être considérés comme un cas d'école pour mesurer le potentiel de développement de l'électricité solaire dans le mix électrique d'un pays. Alors qu'elle représentait moins de 1 % du mix électrique néerlandais en 2014 (une part de 0,61 % dans la production brute d'électricité totale), l'électricité solaire a atteint une part de 15 % en 2022 (source Statistics Netherlands). Cette augmentation



VATTENFALL 2022



rapide de la production est avant tout corrélée à une augmentation de la puissance installée avec un parc raccordé qui est passé de 1 GW en 2014 à 18,8 GW fin 2022 (dont 11,6 GW supplémentaires entre 2019 et 2022). Le nombre de systèmes solaires installés dans le pays était estimé par Statistics Netherlands à plus de 1,7 million en 2021 et compte tenu de la croissance du marché, il devrait rapidement dépasser les 2 millions en 2022, un chiffre relativement élevé pour un pays de 17,6 millions d'habitants. A titre de comparaison, BSW comptabilisait 2,65 millions d'installations en Allemagne fin 2022, le pays comptant 83,2 millions d'habitants. Logiquement, les Pays-Bas sont premiers au classement de la puissance installée. C'est le premier pays à disposer d'une puissance solaire par habitant supérieure au kilowatt (1,1 kW par habitant en 2022), devant l'Allemagne

(0,8 kW/hab) et la Belgique (0,6 kW/hab). Les deux principaux moteurs de l'énergie solaire photovoltaïque aux Pays-Bas restent un système de facturation nette pour les segments du résidentiel et des petites entreprises, et le système d'appel d'offres SDE+ sur le segment des grandes centrales et des grands systèmes commerciaux, où le solaire photovoltaïque est en concurrence avec d'autres sources d'énergies renouvelables. Selon SolarPower Europe, le marché des Pays-Bas pourrait être plus important, mais au moins 12 GW de projets sont en attente, confrontés à des défis pour sécuriser les connexions et les emplacements. Autre mesure importante, le gouvernement néerlandais, comme la législation européenne l'y autorise, a réduit depuis le 1^{er} janvier 2023 la taxe sur la valeur ajoutée appliquée aux systèmes photovoltaïques utilisés pour les applications

résidentielles de 21% à 0%. Les Pays-Bas avaient d'ailleurs défendu avec ferveur ce type d'exonération fiscale auprès de la Commission européenne.

DE NOUVELLES CAPACITÉS À LA MESURE DE LA DEMANDE MONDIALE

L'IRENA, dans sa dernière publication *World Energy Transitions Outlook*, estime que la capacité solaire photovoltaïque devra atteindre plus de 14 000 GW cumulés d'ici 2050 (contre un peu plus de 1 046 GW fin 2022) dans un scénario de 1,5 °C, auxquels s'ajouteront plus de 8 100 GW de production éolienne terrestre et maritime d'ici 2050, aux côtés des contributions des autres énergies renouvelables comme l'hydroélectricité, la biomasse, la géothermie, l'énergie solaire concentrée (CSP) et les énergies océaniques. Concernant la

partie PV, le potentiel de développement de la filière industrielle mondiale est donc encore très élevé avec l'objectif pour les acteurs américains, indiens et même européens de combler leur retard avec l'industrie chinoise, idéalement positionnée pour répondre à la demande mondiale. Les acteurs chinois ont en effet compris il y a plus de dix ans que le marché photovoltaïque était moins un marché de haute technologie qu'un marché de volume. C'est la taille géante des usines, les « gigafactories », qui a permis à l'industrie chinoise de s'emparer du marché mondial, bien aidée par les banques d'État, bras armé de la politique industrielle du pays, qui ont facilité

La centrale solaire au sol de Boyer & Jugy (Saône-Et-Loire) est équipée de 8 570 panneaux solaires pour une puissance de 3,7 MW. Elle est installée sur un délaissé autoroutier au bord de l'A6.



l'accès aux investissements, ainsi que par une intégration verticale (du silicium au module).

L'objectif affiché des autres grandes nations industrielles, États-Unis, Inde, Europe et même Japon, est de briser cette dépendance à la Chine dans un contexte géopolitique de plus en plus tendu, dans un monde où il est désormais admis que l'énergie solaire aura un rôle central à jouer. En attendant ce rééquilibrage, la Chine demeure la principale usine photovoltaïque du monde. Selon les données du ministère de l'Industrie et des Technologies de l'information, reprise par le *Quotidien d'information économique*, la production nationale de polysilicium, de plaquettes de silicium, de cellules et de modules a atteint respectivement en 2022, 827 000 tonnes, 357 GW, 318 GW et 288,7 GW et la valeur de la production totale de l'industrie photovoltaïque dépassera cette année les 1400 milliards de yuans (soit l'équivalent à 183,5 milliards d'euros ou plus de 202 milliards de dollars). Selon cette même source, en 2022, les exportations de produits photovoltaïques de la Chine ont dépassé les 51,2 milliards de dollars, soit une augmentation annuelle de plus de 80%. En termes de volume, l'exportation de modules photovoltaïques a atteint 153,6 GW, celle de plaquettes de silicium, 36,3 GW et l'exportation de cellules solaires, 23,8 GW. Ces augmentations ont été réalisées en quantité et en qualité avec une production massive de cellules à haut rendement, qu'elles soient de type PERC de type p, cellules TOPCon (tunnel oxyde passivé contact) de type n et celles à hétérojonction.

Les entreprises chinoises accélèrent leurs investissements. Le fabricant de panneaux solaires Longi a, par exemple, annoncé un projet de 45 milliards de yuans (6 milliards d'euros) en vue de construire un site de production capable de fabriquer 100 GW de plaquettes de silicium et 50 GW de cellules solaires par an. Ce nouveau site, qui deviendra le plus grand site de production solaire au monde, devrait être mis en service au troisième trimestre 2024. L'entreprise visait pour fin 2022 une capacité de gaufres de silicium de 150 GW contre 105 GW fin 2021, de 85 GW de modules (60 GW fin 2021) et 60 GW de cellules (37 GW fin 2021). Autre exemple, JA Solar a annoncé un projet de parc industriel à faibles émissions de carbone pour l'ensemble de la chaîne photovoltaïque à Ordos, en Mongolie intérieure, pour un

investissement de 40 milliards de yuans. Le site vise une intégration totale de la chaîne de valeur comprenant la production de 100 000 à 150 000 tonnes de silicium, 20 GW de lingots (et de gaufres de silicium), 30 GW de cellules solaires et 10 GW de modules solaires. TCL Zhonghuan, leader sur le marché de la gaufre de silicium, a également annoncé un projet d'usine de gaufres de silicium monocristallin ultramine de 35 GW, ainsi qu'une usine de production de 25 GW de cellules de type n TOPCon, un investissement de 4,1 milliards de yuans, opérationnel au quatrième trimestre 2023. TCL prévoit aussi d'atteindre une capacité de production de gaufres de silicium de 180 GW d'ici la fin de l'année 2023. Déjà, la capacité de production de gaufres de silicium avait augmenté de 59% entre 2021 et 2022 pour atteindre 140 GW. Les 40 GW supplémentaires seront assurés par la mise en service de son usine Ningxia Phase VI en fin d'année. Le chiffre d'affaires de TCL était de 67 milliards de RMB (9,75 milliards de dollars) pour un bénéfice net attribuable à la maison mère de 6,8 milliards de RMB (1 milliard de dollars). Selon l'AECEA (Asia Europe Clean Energy Advisory), la capacité de production annuelle totale de cellules et de modules solaires de la Chine pourrait passer de 361 GW à la fin de 2021 à 600 GW à la fin de 2022.

L'Inde a également affiché de grandes ambitions dans le secteur de l'énergie solaire avec l'objectif d'être autosuffisante pour sa demande intérieure mais également de prendre part au marché mondial. Selon un rapport de l'Institut for Energy Economics and Financial Analysis et de JMK Research, l'Inde devrait atteindre 110 GW de capacité de modules photovoltaïques d'ici 2026, et une capacité de production de 59 GW de cellules, 56 GW de lingots/gaufres de silicium et 38 GW de silicium polycristallin. La capacité de production de modules en Inde est déjà passée de 18 GW en mars 2022 à 38 GW en mars 2023. Ce réveil indien s'explique par la montée en puissance du programme d'investissement industriel PLI (Production-Linked Incentive scheme) mis en place en novembre 2020 dans le cadre du programme Atmanirbhar Bharat (Self-Reliant India), qui accorde des subventions aux productions indiennes dans une dizaine de secteurs jugés stratégiques, dont le photovoltaïque et les



batteries électrochimiques. Du côté de la demande, le gouvernement a dressé une liste ALMM (Approved List of Models and Manufacturers) des modules et cellules photovoltaïques approuvés par le MNRE (Ministry of New and Renewable Energy) pouvant être utilisés pour des projets indiens solaires. Depuis mars 2022, l'ALMM ne contient plus un seul fabricant étranger. En mars 2023, la liste regroupe plus de 70 fabricants domestiques représentant une capacité de production de 22,4 GW.

Aux États-Unis, l'IRA, le plan adopté par l'administration Biden l'été dernier, va également provoquer un appel d'air pour les investissements dans le solaire photovoltaïque. D'après *PV Magazine International*, deux dispositions phares de l'IRA sont susceptibles de changer la donne pour les équipementiers. La première concerne les crédits à la fabrication avancée (*advanced manufacturing production credit* - AMPC), destinés aux équipements pour les énergies renouvelables fabriqués aux États-Unis. La deuxième disposition concerne les avantages accordés aux développeurs de projets d'énergies renouvelables américains pour qu'ils achètent des équipements américains, assortis d'un crédit d'impôt supplémentaire s'ils respectent les seuils fixés par les prescriptions relatives aux composants d'origine nationale (*domestic content requirement* - DCR). Pour ce faire, 40 % de l'ensemble des équipements doivent être fabriqués aux États-Unis pour les projets installés avant 2025.

La Commission européenne a quant à elle officiellement lancé l'Alliance de l'industrie solaire photovoltaïque en décembre 2022 dont l'objet est de disposer d'un écosystème solaire photovoltaïque européen capable de sécuriser et de diversifier son approvisionnement en modules solaire. L'UE a déjà défini un objectif de 30 GW par an d'approvisionnement en panneaux européens d'ici 2025. Mais le risque pour l'Europe est de voir des projets annulés pour être délocalisés aux États-Unis ou en Inde, comme c'est le cas du projet du norvégien REC Solar qui prévoyait d'investir dans une unité de production de modules solaires à hétérojonction en Moselle en France à hauteur de 680 millions d'euros. Le fabricant, passé dans le giron du conglomérat indien Reliance à l'automne 2021, a finalement annoncé fin 2022 l'arrêt de



TSE JULIEN BRUSTUDIO

son projet en France. Pour l'heure, les compagnies européennes ont annoncé des projets d'extension ou de création d'usines de l'ordre de 20 GW d'ici 2025, mais avec des perspectives de réalisation encore conditionnées par des aides et avec des volumes d'échelle modeste en comparaison avec les projets d'extension chinois.

Il est également encore trop tôt pour mesurer l'impact que pourra avoir le projet de loi Net Zero Industry Act (NZIA) décidé par la Commission européenne pour relancer ses industries stratégiques pour la neutralité carbone (voir *Baromètre éolien 2023*). Par nature, le projet NZIA est moins favorable que celui des États-Unis, car l'Union européenne ne s'occupe pas directement de fiscalité et ce sera donc aux États européens de mettre en place des mesures, comme les crédits d'impôt à l'investissement, qui permettront la mise en place de nouvelles usines.

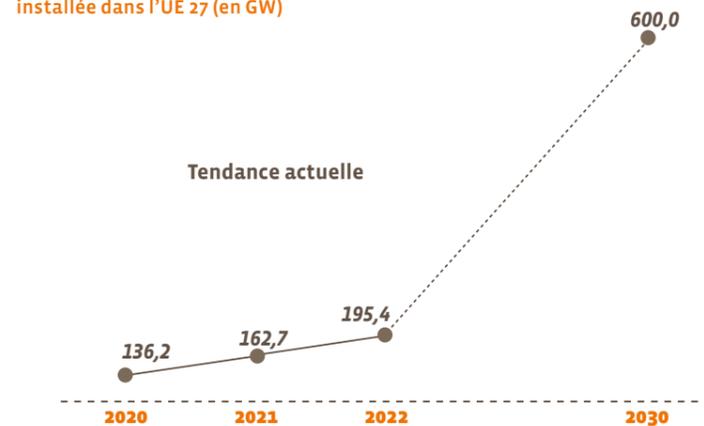
Le producteur indépendant d'énergie solaire, TSE, a inauguré en 2022 son premier démonstrateur agrivoltaïque sur grandes cultures, à Amance dans le département de la Haute-Saône.

LE DÉFI TECHNOLOGIQUE DU STOCKAGE POUR L'APRÈS 2030

L'Union européenne a enfin trouvé le 30 mars dernier un accord sur la directive révisée sur les énergies renouvelables en fixant le nouvel objectif à 42,5 % d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'énergie d'ici 2030 (contre un peu moins de 22 % en 2021), définissant une trajectoire de développement compatible avec son Pacte vert européen. Ce défi sera d'autant plus difficile à relever que la directive révisée sera beaucoup plus restrictive en matière d'énergie biomasse et, par voie de conséquence, va reporter une partie des efforts de l'énergie du vivant vers l'éolien

Graph. n° 2

Projection par EurObserv'ER de l'évolution de la capacité photovoltaïque* installée dans l'UE 27 (en GW)



* Puissance électrique maximale nette, hors réseau inclus. Source : EurObserv'ER 2023.

(maritime et terrestre), et encore plus vers le solaire photovoltaïque, assurément la filière énergie renouvelable au potentiel de développement le plus rapide et conséquent. Ce besoin de rapidité est d'autant plus important depuis l'agression russe aux portes de l'Union européenne qui a rendu prioritaire l'indépendance de l'UE à l'égard des combustibles fossiles de cette puissance. Elle incite aussi à accélérer l'électrification et le remplacement des combustibles fossiles dans la production de chaleur dans l'industrie et les bâtiments ainsi que dans les transports. Une nécessaire indépendance qui met le plan REPowerEU et la stratégie de l'UE pour l'énergie solaire sur les bons rails. Pour rappel, cette stratégie vise à mettre sur le réseau plus de 320 GWac d'énergie solaire photovoltaïque d'ici à 2025 (soit plus du double par rapport à 2020) et environ 600 GWac d'ici à 2030. Les projections 2022-2026 de l'*EU Market Outlook* de SolarPower Europe étaient, en fin d'année 2022, optimistes. Selon le scénario moyen, les nouvelles ambitions de l'UE fixées dans le cadre du plan REPowerEU, ainsi que la nécessité de lutter contre les prix élevés actuels de l'électricité, porteront le secteur à 53,6 GWdc en 2023. En 2024, le scénario moyen de SolarPower Europe prévoit un taux de croissance de 16 % à 62,3 GWdc, suivi de 74,1 GWdc en 2025 et de 85,2 GWdc en 2026, soit plus que le double de la taille actuelle du marché. Pour accompagner ce formidable essor des énergies renouvelables dites variables dans le système

électrique jusqu'en 2030, la question du stockage (en plus des investissements dans des infrastructures réseau capables d'accueillir cette nouvelle production) va rapidement devenir centrale. Les technologies de stockage, qu'elles soient adaptées aux besoins journaliers, hebdomadaires ou intersaisonniers, vont devenir cruciales pour fournir la flexibilité, la stabilité et la fiabilité nécessaires au système énergétique du futur. La flexibilité du système est particulièrement nécessaire dans le système électrique de l'UE, où la part des énergies renouvelables devrait atteindre environ 69 % d'ici 2030 et 80 % d'ici 2050. Selon la Commission, de nombreux marchés européens du stockage de l'énergie connaissent déjà une forte croissance, avec 2,8 GW (3,3 GWh) de stockage d'énergie de grande échelle de type « *utility scale* » nouvellement déployés en 2022 (contre 4 GW aux États-Unis selon American Clean Power). Le stockage passera également par la généralisation du stockage résidentiel et des véhicules électriques V2G (« *vehicle to grid* »).

L'UE a donc besoin de la mise en œuvre d'une chaîne de valeur industrielle solide, durable et résiliente pour les technologies de stockage de l'énergie. Pour ce faire, la Commission européenne a émis le 14 mars 2023 une dizaine de recommandations sur le développement du stockage, afin de soutenir un système énergétique de l'UE décarboné et sûr. Elles visent à assurer un plus grand déploiement du stockage de l'énergie, accompagné d'un document de

travail des services, donnant un aperçu du cadre réglementaire, commercial et financier actuel de l'UE pour le stockage et identifiant les obstacles, les opportunités et les meilleures pratiques pour son développement et son déploiement. L'accélération du rythme d'installation des énergies renouvelables va rendre cette question cruciale beaucoup plus rapidement que prévu. Le stockage stationnaire adapté aux besoins de stockage journalier est déjà sur les rails mais la question du stockage intersaisonnier à grande échelle, et donc de l'origine du gaz vert et de l'ammoniac, deviendra plus pressante pour les pays visant des taux de pénétration très élevés dans la seconde moitié des années 2030. □

Sources : AGEE-Stat (Allemagne), GSE-Terna (Italie), SDES (France), MITECO (Espagne), Statistics Netherlands (Pays-Bas), Statistics Austria (Autriche), SPF Economie (Belgique), CRES (Grèce), Mavir (Hongrie), MEKH (Hongrie), ESO (Bulgarie), ARE (Pologne), DGE (Portugal), INS (Roumanie), Statistics Sweden (Suède), Ministry of Industry and Trade (Tchéquie), Statistics Lithuania (Lituanie), Elering (Estonie), Finnish Energy (Finlande), Danish Energy Agency (Danemark), Eirgridgroup (Irlande), STATEC (Luxembourg), IRENA.

Le prochain baromètre traitera du solaire thermique et du solaire thermodynamique



La version française de ce baromètre et sa diffusion ont bénéficié du soutien de l'Ademe.

Ce baromètre a été réalisé par Observ'ER dans le cadre du projet "EurObserv'ER" regroupant Observ'ER (FR), TNO (NL), Renac (DE), Fraunhofer ISI (DE), VITO (BE) et Statistics Netherlands (NL). Ce document a été préparé pour la Commission européenne, mais il ne représente que l'opinion de ses auteurs. Ni la Commission européenne, ni l'Ademe ne peuvent être tenues responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent.