

Trimestriel

Novembre
2024
Janvier
2025

Numéro
47

DÉPOLLUTION : DE L'EAU PROPRE GRÂCE AU SOLEIL

HABITAT
MOBILITÉ
ÉNERGIES

INNOVATION
SMART CITIES
TECHNOLOGIE
ENVIRONNEMENT

GREEN

LE MAGAZINE DE L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Batteries lithium-ion



**L'Europe peut-elle
s'extraire
de la dépendance
chinoise ?**

Contient le supplément

COMPOST
magazine

Compostage et biodéchets

**L'avenir de la gestion
écologique**



CONSILDE MEDIA GROUP

COMMENT L'ÉTUDE DES VITRAUX MÉDIÉVAUX PERMET D'AMÉLIORER LES PANNEAUX SOLAIRES



Sous le haut patronage
de M. EMMANUEL MACRON
Président de la République

Hyvolution

A WORLD
OF HYDROGEN

PARIS



28-30 JANVIER 2025

PARIS EXPO • PORTE DE VERSAILLES • FRANCE

**REJOIGNEZ L'ÉVÉNEMENT
LEADER MONDIAL DE L'HYDROGÈNE**

**DEMANDEZ VOTRE BADGE
GRATUIT À PARTIR
DE MI-NOVEMBRE
EN SCANNANT CE QR CODE**



En collaboration avec



UN RENDEZ-VOUS
greentech+

[PARIS.HYVOLUTION.COM](https://paris.hyvolution.com)



COORDINATRICE ÉDITORIALE

Mariam Kveselava

CORRECTRICE

Isabelle Vincent

GRAPHISME / MISE EN PAGE

Studio Caldera / Cythae (couvertures)

ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO

Ann-Charlotte Champagne, Loïs Charlemagne, Clément Faucher, Stéphane Fievet, Raphaël Goerens, Carl Grekou, Emmanuel Hache, Anicia Jaegler, Mariam Kveselava, Julie Mendret, Valérie Mignon, Mathieu Padilla, Gaël Plantard, Laingo Randrianarisoa, Matthieu Ricord, Abdelaziz Smouni, François Vernay, Silvestros Vlachopoulos.

SERVICE DE LA RÉDACTION

Consilde Media Group
100 Rue Victor Baltard
F-13290 Aix-en-Provence
contact@consilde.com

PARTENARIAT ÉDITORIAL

The Conversation
<https://theconversation.com>

LCPDelta
<https://delta.lcp.com>

PARTENARIATS / PUBLICITÉ

Joachim Richard
Tél. : 06 11 30 37 85
joachim@consilde.com

Loïs Charlemagne
Tél. : 06 95 85 72 42
lois@consilde.com

SITE INTERNET

www.innovation24.news

DIFFUSION NUMÉRIQUE

PressReader

ILLUSTRATIONS

Shutterstock (sauf mention contraire)

IMPRESSION

LMDP (France)



ENVIRONNEMENT

L'impression de ce numéro a été réalisée selon le cahier des charges Imprim'Vert®. PEFC 10-31-2849
Les encres utilisées sont végétales, afin de permettre un meilleur recyclage et d'augmenter les propriétés biodégradables de notre magazine imprimé.

COPYRIGHT

En application de la loi du 11 mars 1957 (art. 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur.

Les opinions exprimées dans les articles et entretiens n'engagent que leurs auteurs.

INFORMATIONS LÉGALES

N° 47 / Novembre 2024 - Janvier 2025

ISSN : 2271-281X

Dépôt légal : à parution

Directeur de publication : Alexis Bautzmann

Prix public TTC pour la France : 6,80 euros



Édito



La transition énergétique : du concept à la réalité

Face à l'urgence climatique qui s'impose chaque jour davantage, la transition énergétique quitte enfin le domaine des promesses pour entrer dans celui des réalisations concrètes. Ce numéro cartographie les innovations qui transforment en profondeur notre rapport à l'énergie, des laboratoires de recherche les plus pointus aux applications industrielles les plus ambitieuses.

Le solaire cristallise aujourd'hui les plus grands espoirs technologiques, et pour cause. Cette énergie, longtemps cantonnée à un rôle marginal, s'affirme désormais comme le pilier central de notre future indépendance énergétique. Les chercheurs puisent leur inspiration dans des sources inattendues : les vitraux médiévaux, maîtres millénaires de l'absorption lumineuse, suggèrent des pistes révolutionnaires pour les cellules photovoltaïques de demain. Cette dynamique d'innovation, portée par une volonté politique enfin affirmée et des investissements massifs, place le solaire au premier plan de notre futur énergétique.

Mais le défi crucial du stockage reste à relever. Face à la domination écrasante de la Chine sur le marché des batteries lithium-ion, l'Europe mobilise ses forces vives, scientifiques et industrielles, pour construire sa souveraineté technologique. Les gigafactories se multiplient sur le continent, tandis que la recherche s'intensifie sur les technologies de nouvelle génération. Parallèlement, l'hydrogène vert émerge comme une alternative prometteuse, porté par des avancées majeures dans l'électrolyse et les piles à combustible. Cette diversification des solutions de stockage est la clé de voûte d'un système énergétique résilient.

La transition énergétique déborde largement le cadre strict de la production d'énergie. L'innovation s'étend désormais à tous les secteurs, à commencer par la dépollution : le solaire trouve de nouvelles applications révolutionnaires dans le traitement des eaux usées, tandis que la phytoremédiation transforme notre approche de la décontamination des sols. Ces technologies émergentes démontrent qu'il est possible de réconcilier progrès technologique et préservation de l'environnement.

La mobilité se transforme également en profondeur, portée par des innovations disruptives. Notre dossier Ecologistics explore les initiatives qui réinventent le transport de marchandises : la start-up GreenGen révolutionne la logistique du dernier kilomètre, pendant que le transport fluvial connaît une renaissance inattendue grâce à des solutions hybrides innovantes. Ces projets démontrent que la décarbonation de nos échanges n'est plus une utopie mais une réalité en marche. Cette transformation profonde de notre modèle énergétique nécessite dialogue, partage d'expériences et collaboration entre tous les acteurs. Les salons EnerGaia 2024 et Bepositive 2025 s'annoncent comme des catalyseurs essentiels de cette dynamique collective, des espaces privilégiés où s'inventent et se concrétisent les solutions de demain. L'innovation naît de ces rencontres entre chercheurs, industriels, start-uppers et décideurs publics.

Ce numéro vous plonge au cœur de cette révolution énergétique qui redessine les contours de notre société. Les solutions existent, se déploient et se multiplient à une vitesse sans précédent. La transition n'est plus un horizon lointain ni une simple ambition : c'est notre présent en action, une transformation profonde qui mobilise les forces vives de notre économie et de notre recherche.

L'avenir énergétique s'écrit aujourd'hui, et il porte les couleurs de l'espoir.

Bonne lecture !

pollutec

ACTIVATEUR
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

paris

A graphic element consisting of three overlapping, stylized arrow shapes pointing to the right. The top arrow is yellow, the middle one is light green, and the bottom one is light blue. They are layered to create a sense of depth and movement.

LE NOUVEAU RENDEZ-VOUS DES ACTEURS ET ACCÉLÉRATEURS DU CHANGEMENT



26-27 NOV
2024
PARIS EXPO
PORTE DE VERSAILLES

Built by
RX In the business of
building businesses

[POLLUTEC.COM](https://pollutec.com)





06 NEWS

09

ÉNERGIE SOLAIRE

- 09 Comment l'étude des vitraux médiévaux permet d'améliorer les panneaux solaires
- 11 Photovoltaïque. Le Gouvernement renforce son soutien à la filière
- 14 Irisolaris, spécialiste de la maintenance de centrales photovoltaïques

16

BATTERIES ET STOCKAGE

- 17 Batteries lithium-ion : l'Europe peut-elle s'extraire de la dépendance chinoise ?
- 20 Batteries et transition énergétique. Quel avenir pour l'Europe ?
- 22 Électrolyse et pile à combustible. Les clés de l'hydrogène vert pour une transition énergétique réussie

24

SOLUTIONS DE DÉPOLLUTION

- 25 De l'eau propre grâce au soleil
- 28 WESSLING, membre d'ALS Leader en analyses environnementales
- 33 La phytoremédiation. Quand les plantes dépolluent les sols

34

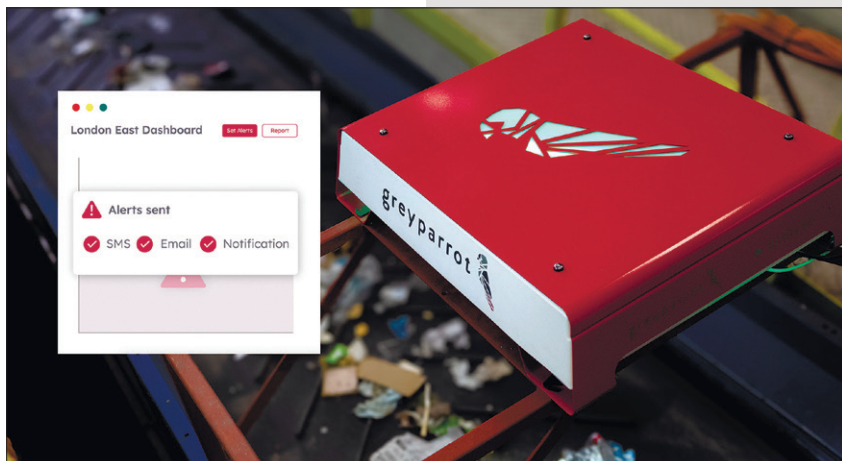
ECOLOGISTICS

- 34 GreenGen, pionnier du transport décarboné
- 37 Transporter les colis par le fleuve, solution décarbonée pour livrer en centre-ville ?

41

AGENDA ET RÉSEAUX

- 41 Bepositive 2025, un salon au cœur de l'innovation pour un avenir énergétique durable
- 43 EnerGaïa 2024, un forum au service de la transition énergétique et des innovations vertes



NextWaste présente Greyparrot : une révolution pour le recyclage

NextWaste lance Greyparrot, une solution innovante en intelligence artificielle (IA) destinée à transformer le recyclage des déchets. Cette technologie permet aux collectivités, aux centres de tri et aux exploitants de mieux gérer les flux de déchets, en offrant une analyse instantanée et détaillée de leur composition. Un atout considérable face aux enjeux environnementaux actuels.

Avec l'objectif ambitieux de valoriser 65 % des déchets d'ici 2030, la France fait face à des défis majeurs, notamment une faible recyclabilité des plastiques. Actuellement, moins de 30 % des plastiques collectés sont effectivement recyclés, faute de précision dans leur identification. C'est à ce stade que Greyparrot intervient : grâce à son système de caractérisation automatisée, il analyse plus de 80 catégories de déchets (et 111 d'ici 2025), avec une précision de niveau industriel. La solution permet d'évaluer en temps réel la composition des déchets, la valeur résiduelle des matériaux et les émissions de CO₂ générées.

Cette technologie facilite la conformité avec les réglementations, comme la loi AGEC, et aide les exploitants à optimiser les performances de leurs centres de tri. Déjà déployée dans plus de 20 pays, Greyparrot sera présentée à Pollutec Paris 2024, où elle se positionne comme une solution incontournable pour améliorer les taux de recyclage et réduire les déchets enfouis. « Il est crucial d'adopter des technologies

comme Greyparrot pour répondre aux exigences environnementales et économiques » souligne Éric Voisin, directeur associé de NextWaste.

Enerfip publie son baromètre sur le crowdfunding de la transition énergétique

Enerfip, leader européen du financement participatif dédié à la transition énergétique, dévoile son premier baromètre sur l'évolution du crowdfunding dans ce secteur. En 2023, les plateformes de financement participatif spécialisées dans les énergies renouvelables ont connu une progression remarquable de 11,5 %, contrastant avec la baisse observée dans d'autres secteurs comme l'immobilier. En France, 368 millions d'euros ont été investis dans des projets liés à la transition énergétique, représentant désormais 17,6 % du crowdfunding national, contre 14 % en 2022.



Cette dynamique est soutenue par une prise de conscience croissante des citoyens, de plus en plus nombreux à orienter leur épargne vers des projets respectueux de l'environnement. Le secteur du financement participatif dans les énergies renouvelables se distingue notamment par ses rendements attractifs, compris entre 7 % et 10 % par an.

Le baromètre d'Enerfip met également en lumière les régions les plus actives. L'Occitanie, avec 120 millions d'euros investis, se positionne en tête, suivie de l'Île-de-France et d'Auvergne-Rhône-Alpes. L'énergie solaire, particulièrement, est le principal domaine d'investissement, représentant près de 390 millions d'euros en 2023. Ce succès démontre que le financement participatif est devenu un levier clé pour accélérer la transition énergétique et répondre aux défis écologiques actuels.

Création de l'association ENFIN pour renforcer la surveillance des forêts européennes

Plus de 30 organisations européennes en charge des Inventaires forestiers nationaux (IFN) annoncent la création de l'association ENFIN (*European National Forest Inventories Network*), destinée à renforcer la surveillance des forêts à l'échelle européenne. Après plus de 20 ans de collaboration informelle, les membres du réseau se sont unis pour mieux harmoniser les données forestières, répondre aux défis du



changement climatique et soutenir les politiques publiques liées à la gestion des forêts.

Les inventaires forestiers nationaux sont des outils clés pour surveiller l'état des forêts, collecter des données fiables et fournir des informations cruciales pour la gestion durable des ressources forestières. En créant ENFIN, l'association vise à améliorer la coopération entre les IFN européens, favoriser les échanges de bonnes pratiques et renforcer leur rôle scientifique et politique. Enregistrée en France, ayant son siège à l'IGN, elle sera un forum pour les institutions responsables des IFN, tout en promouvant des standards communs de collecte et d'analyse des données. « Notre vision est celle d'une Europe où les forêts prospèrent, contribuant à la fois à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique », déclarent les fondateurs.

ENFIN compte 18 membres fondateurs et envisage de nombreux partenariats avec d'autres institutions œuvrant pour la préservation et la gestion durable des forêts européennes.

Woodlight dévoile son premier prototype de plante bioluminescente

Au Havre, lors de l'événement scientifique « Sur les épaules des géants » qui s'est déroulé du 26 au 28 septembre 2024, la startup alsacienne Woodlight a marqué un jalon important en dévoilant son tout premier prototype de plante bioluminescente. Fruit de plusieurs années de recherche et d'innovation, cette plante vivante représente

une véritable prouesse scientifique. Elle incarne la mission ambitieuse de la startup : sublimer la nature pour éclairer l'avenir de manière propre et durable.

Cette avancée intervient après une campagne de financement participatif réussie sur Kriptown, où Woodlight a récolté 212 160 €, soit 212 % de l'objectif initial. Ce succès a permis de renforcer l'équipe, notamment avec l'embauche d'une directrice en R&D. Le prototype marque le début d'une nouvelle phase pour Woodlight, qui prévoit la commercialisation et la production de ses plantes bioluminescentes en 2025.

Fondée en 2018 par les biologistes Rose-Marie et Ghislain Auclair, Woodlight combine écologie et innovation pour créer des plantes capables d'émettre leur propre lumière, sans électricité ni raccordement. Ces plantes offrent une solution lumineuse, dépolluante et créatrice d'ambiance, qui pourrait transformer l'éclairage urbain tout en garantissant une sobriété énergétique. Un avenir lumineux et poétique se profile pour les villes du monde entier, grâce à la lumière de demain cultivée par Woodlight.

La Caserne Clarke, exemple de réhabilitation énergétique réussie

La Caserne Clarke, bâtiment historique du XVIII^e siècle, a été entièrement réhabilitée pour devenir un modèle de transition énergétique. Anciennement dédiée aux régiments de cavalerie,

cette caserne, désormais un site polyvalent abritant les services techniques du Pays de Mormal et une maison de la petite enfance, s'engage désormais dans une démarche éco-responsable.

Dès 2019, la communauté de communes du Pays de Mormal a lancé une série de rénovations pour réduire la consommation énergétique de ce bâtiment imposant. Après l'installation d'une chaudière à bois déchiqueté, l'accent a été mis sur la toiture, avec l'idée d'y intégrer des panneaux photovoltaïques. Objectif : produire de l'électricité solaire pour le site, et redistribuer le surplus en autoconsommation collective aux bâtiments voisins.

En janvier 2024, la toiture de la Caserne Clarke a été recouverte de 600 tuiles solaires MAX rouges fournies par Ediliane, offrant une puissance de 36 kWc. Ce choix, parfaitement intégré au style architectural de la caserne, répond à un double impératif : efficacité énergétique et préservation du patrimoine. L'installation permettra de produire 960 000 kWh sur 30 ans, économisant ainsi 32 000 kWh par an et réduisant de 63 tonnes les émissions de CO₂ sur la durée de vie du projet.

Avec un investissement de 310 000 €, subventionné par l'État et la Région, cet ambitieux projet sera amorti en 12 ans, tout en contribuant à une sobriété énergétique accrue pour la communauté. Un bel exemple de réhabilitation énergétique au service de l'environnement et du patrimoine local. ■





LE SPECIALISTE DE LA MAINTENANCE DE CENTRALES PHOTOVOLTAIQUES EN TOITURE ET AU SOL



**COUVERTURE
NATIONALE**



**EQUIPEMENTS
TECHNIQUES
EN RÉGION**

TOITURES



**CERTIFICATIONS
& HABILITATIONS**



**FORMATION
CONTINUE**

OMBRIÈRES DE PARKING



CENTRALES AU SOL



RETROUVEZ-NOUS AUX SALONS :

**POLLUTEC
HALL 1
STAND C043**

**ENERGAÏA
HALL B3
STAND C06**

ou prenez rendez-vous
avec nos équipes :

Tél : 04 65 84 91 56



IRISOLARIS
promoteur de la transition énergétique



www.irisolaris.com

Comment l'étude des vitraux médiévaux permet d'améliorer les panneaux solaires

• François VERNAY

• Professeur des universités,
• spécialisé en physique des solides
• et interaction lumière-matière,
• Université de Perpignan Via
• Domitia.

Nous évoluons dans un monde gourmand en énergie. Au quotidien, nous devons chauffer notre logement, recharger notre smartphone, nous rendre au travail où nous utilisons machines et ordinateurs. Toutes ces activités engendrent un coût énergétique dont une part importante est encore assurée, à l'échelle mondiale, par des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon). Or depuis quelques années, nous assistons à une lente transition vers des productions d'électricités décarbonées qui contribuent à réduire nos émissions de dioxyde de carbone, comme l'éolien ou le photovoltaïque. Cette évolution s'accompagne de recherches visant à optimiser à la fois les processus de conversion d'énergie (amélioration des turbines et alternateurs ou des cellules solaires) et l'usage des matériaux qui sous-tendent ces processus. En amont des applications, il incombe donc aux chercheurs d'imaginer, de synthétiser, puis de vérifier les propriétés physiques de ces nouveaux matériaux qui seront utiles pour l'énergie.

Dans ce contexte, le déploiement de l'énergie solaire joue un rôle important, et l'installation de fermes solaires ou d'ombrières photovoltaïques sur des parkings est de plus en plus courante. En parallèle, même si la conversion de l'énergie solaire en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques est connue depuis le milieu des années 1950, les efforts en vue d'améliorer son efficacité se poursuivent. Le matériau constituant le cœur d'une cellule est un semi-conducteur, par exemple le silicium, mais il en existe d'autres. En tout état de cause, ces semi-conducteurs ont tous une nature commune : leur propriété électrique change s'ils absorbent un rayonnement suffisamment énergétique, qui dépasse un certain seuil appelé le *gap*. C'est sur ce principe qu'ils sont utilisés pour produire de l'électricité.

Des vitraux médiévaux aux panneaux solaires nouvelle génération

Tout le rayonnement provenant du Soleil ne peut donc pas être converti en électricité par une cellule photo-

voltaïque. En effet, en observant un arc-en-ciel, nous constatons que la lumière qui nous parvient du Soleil est en réalité une superposition de différentes couleurs, du rouge au violet pour la partie visible. Mais il existe aussi les parties invisibles à l'œil, dont l'infrarouge et les ultra-violets. Certains photons (ou grains de lumière) du spectre solaire ne sont pas assez énergétiques, leur énergie est inférieure à celle du *gap* du semi-conducteur. D'autres photons ont une énergie beaucoup plus grande que le *gap* et une partie de cette énergie est perdue en chaleur, ce qui est néfaste au bon fonctionnement de la cellule. Ainsi, l'une des voies de recherche suivies consiste à optimiser la récolte des photons de façon à ce qu'ils contribuent efficacement au processus de conversion.

Pour cela, les photons doivent avoir une énergie au moins égale à celle du *gap* du semi-conducteur constituant la cellule, mais cette énergie ne doit pas être trop élevée non plus. L'enjeu est double : il importe d'une part,



► Pourra-t-on améliorer l'efficacité des panneaux solaires grâce à un phénomène connu empiriquement depuis le Moyen-Âge ? (Karsten Würth/Unsplash, CC BY)



◀ Le rouge vibrant de la rose de la Sainte-Chapelle est le résultat de l'interaction entre la lumière et des nanoparticules de cuivre. (Carolyn Whitson/ Flickr, CC BY-NC-ND).

d'absorber le plus de photons possible tout en utilisant des cellules les plus minces possibles afin d'économiser les matériaux, et d'autre part, de sélectionner les « bons » photons, c'est-à-dire, ceux dont l'énergie est adaptée au *gap* du semi-conducteur constituant la cellule photovoltaïque. Depuis un peu plus d'une dizaine d'années, la communauté scientifique cherche à répondre à ce double défi en s'intéressant aux phénomènes optiques qui ont lieu dans le voisinage d'une structure métallique à l'échelle nanométrique. Ce champ de recherche, à l'interface entre optique et physique des solides, s'appelle la (nano)plasmonique.

L'un des effets marquants étudiés par la plasmonique est l'absorption et la diffusion de la lumière à certaines longueurs d'onde précises, qui dépendent du type de matériaux utilisés, de sa taille et de sa forme. Cela donne lieu à l'exaltation de certaines couleurs avec une intensité prononcée. Ce phénomène, connu de façon empirique et non contrôlée depuis le Moyen Âge, participe à intensifier les couleurs de vitraux, comme peut l'être le rouge de la rosace de la Sainte-Chapelle grâce à des inclusions dans le verre de nanoparticules de cuivre d'un diamètre moyen de 22 nanomètres.

Le phénomène de résonance à l'origine de couleurs éclatantes

Alors que la lumière du Soleil arrivant sur le vitrail est une lumière blanche, comment se fait-il que les longueurs d'onde correspondant au rouge, comprises entre 600 nm et 700 nm, apparaissent si intenses après avoir interagi avec les nanoparticules de cuivre ?

Une partie des électrons du métal de la nanoparticule se déplace librement : lorsque la nanoparticule est éclairée, ces électrons sont entraînés dans un mouvement oscillant sous l'effet de la lumière. Pour autant, le métal dans son ensemble reste quant à lui globalement statique, cherchant à ramener les électrons à une position d'équilibre. Il s'agit d'un problème bien connu, un peu comme un pont où les haubans ramènent le tablier à une position d'équilibre et sur lequel des soldats marchent au pas cadencé, provoquant une oscillation forcée de la structure.

Pour une cadence bien choisie, l'amplitude d'oscillation du pont sera maximale, et la structure entrera en résonance. Il en va de même pour les électrons de la nanoparticule et la lumière : pour certaines longueurs d'onde, la réponse du système est maximale, et les couleurs correspondantes sont exaltées. C'est le cas du rouge dans les vitraux de la Sainte-Chapelle. Et ce phénomène physique peut être exploité pour mieux absorber la lumière dans une cellule photovoltaïque.

De nombreux défis encore à relever, en théorie comme en pratique

Pour une nanoparticule isolée, la physique, décrite ci-dessus, est bien comprise. Cependant, pour tirer parti de ce phénomène, et passer aux applications pour l'énergie solaire, il est nécessaire d'appréhender les effets collectifs complexes qui émergent dès lors que nous avons affaire à des assemblées de nanoparticules qui interagissent au sein d'un autre matériau. En imaginant des assemblées de nanoparticules métalliques noyées dans une cellule photovoltaïque, l'effet escompté doit être multiple : la lumière doit avoir une gamme de fréquences ajustée au *gap* de la cellule et la diffusion de la lumière doit s'effectuer dans des directions contrôlées de façon à maximiser le chemin optique au sein de la cellule. Ainsi, la récolte de photons sera optimisée.

Mais pour arriver à ce résultat, d'importants travaux de recherche théoriques et expérimentaux sont nécessaires en amont. Expérimentalement, le premier défi est de développer une synthèse de ces assemblées en utilisant des procédés peu coûteux et fiables. En effet, les propriétés optiques finales de l'assemblée ne peuvent être assurées que si la taille, la forme, et la distribution spatiale des nanoparticules sont finement contrôlées lors de la synthèse. Actuellement, des procédés de dépôt chimique faisant intervenir des plasmas à pression atmosphérique sont une piste possible, mais ils réclament un travail de fond pour comprendre les mécanismes fondamentaux afin qu'ils puissent être déployés.

D'un point de vue théorique, l'un des objectifs est d'être en capacité de prédire les propriétés optiques d'une assemblée de nanoparticules donnée, ou, mieux encore, de pouvoir guider la synthèse vers l'assemblée idoine.

Comme nous le voyons, s'il y a encore du chemin à parcourir pour que la nanoplasmonique prenne pleinement sa place dans les applications de conversion de l'énergie solaire, les pistes sont prometteuses. Outre cette application liée à la conversion d'énergie, et malgré des exemples empiriques qui datent de temps anciens, la plasmonique demeure un domaine très riche, moderne et actif de la physique. ■

Photovoltaïque

Le Gouvernement renforce son soutien à la filière

Projets photovoltaïques en cours d'instruction				
Tranches de puissance	Installations entrées en file d'attente		Dont celles avec une convention de raccordement signée	
	Nombre d'installations	Puissance (en MW)	Nombre d'installations	Puissance (en MW)
≤ 3 KW	25062	66	4072	11
> 3 et ≤ 9 KW	30377	176	5841	38
> 9 et ≤ 36 KW	4853	123	2066	58
> 36 et ≤ 100 KW	9483	851	7491	676
> 100 et ≤ 250 KW	20922	4292	14623	3009
> 250 KW	1867	16925	617	1993
Total	92564	22433	34710	5784
dont métropole	91140	22033	33522	5462

Champ : métropole et DROM, hors Mayotte
Source : SDIS d'après Enedis, RTE, EDF-SOI et CRE

Le 5 avril 2024, à Manosque, Bruno Le Maire, à l'époque ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, et Roland Lescure, ministre délégué chargé de l'Industrie et de l'Énergie, ont annoncé des mesures renforcées pour soutenir le développement du photovoltaïque en France. Ces décisions visent à accélérer le déploiement des panneaux solaires, à dynamiser l'offre industrielle du secteur et à répondre aux enjeux énergétiques et climatiques majeurs du pays.

Un accélérateur pour le déploiement des panneaux solaires

Le développement de la filière photovoltaïque a connu une forte dynamique ces dernières années. En 2023, la France a installé 3,2 GW de nouvelles capacités photovoltaïques, contre 2,7 GW en 2022, portant le total à près de 20 GW (y compris la Corse et les Outre-mer). Cependant, pour atteindre les objectifs de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui vise à installer 6 GW par an, le Gouvernement a mis en place plusieurs mesures stratégiques pour soutenir le développement du solaire.

1. Des appels d'offres pour renforcer les capacités

Depuis le début de l'année, le Gouvernement a attribué des soutiens publics pour près de 1,3 GW de nouvelles capacités photovoltaïques. Parmi ces projets :

- la sixième période de l'appel d'offres pour les installations sur bâtiments et parkings, qui a désigné 90 projets cumulant 362 MWh. Ces projets bénéficieront d'un tarif moyen de 102,10 €/MWh.

- la cinquième période de l'appel d'offres pour les installations au sol, avec 92 projets lauréats représentant 911,53 MWh, à un tarif moyen de 81,9 €/MWh.

Ces appels d'offres visent à garantir la rentabilité des projets et à soutenir l'atteinte de l'objectif de 6 GW par an.

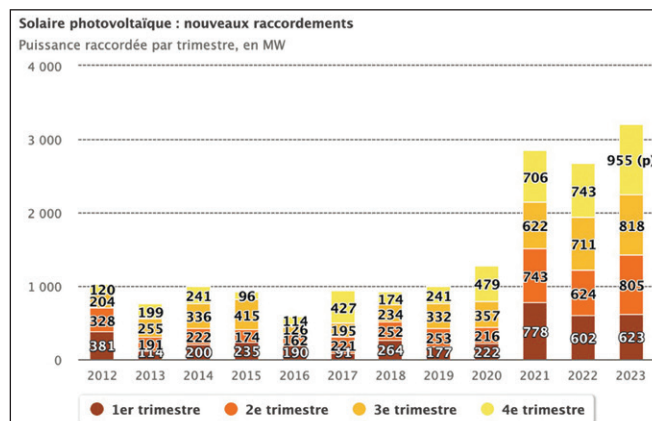
2. Un soutien accru pour les petites installations

Pour encourager les petites installations de panneaux solaires sur les bâtiments et parkings, un arrêté tarifaire (S21) a été publié en mars 2024. Celui-ci permet de rehausser les objectifs de développement du photovoltaïque pour ces installations de 1,3 GW/an à 1,8 GW/an. Ce soutien vise à maintenir des tarifs d'achat attractifs et à encourager l'installation de panneaux solaires sur des surfaces publiques et privées.

3. Accélération de la mise à disposition de fonciers solaires

L'accès au foncier est l'un des principaux freins au développement du photovoltaïque. Pour y remédier, le Gouvernement a mis en place plusieurs leviers :

- le développement de l'agrivoltaïsme, qui permet d'installer des panneaux solaires sur des terres agricoles tout en conservant l'activité agricole. Le cadre juridique de ces projets a été renforcé avec la publication d'un décret spécifique, garantissant des règles strictes pour préserver les zones agricoles et naturelles tout en facilitant les innovations technologiques.
- la planification territoriale du photovoltaïque : un portail cartographique a été créé pour fournir aux collectivités locales les données nécessaires à l'identification des zones propices au développement du solaire, y compris les zones de friches industrielles, délaissés routiers, et autres terrains publics sous-utilisés.



11-12
DÉCEMBRE
2024

enerGaia

Forum des énergies renouvelables

RASSEMBLONS NOS ÉNERGIES !



Plateforme digitale mise à disposition pour vos rendez-vous d'affaires



Espace Business Meetings



Pavillon Bâtiment Durable
Pavillon Emploi - Formation

Parc des Expositions
Montpellier

500
exposants

Trophées
de l'innovation

100
conférences,
ateliers, pitches

Le Forum
100% EnR



www.energaia.fr

Suivez-nous   



Partenaires
officiels

envirôbât
OCCITANIE

FRANCE
renouvelables
Système d'énergie décentralisé



4. La solarisation des délaissés routiers

Une autre mesure clé est la solarisation des délaissés routiers. En collaboration avec les Directions interdépartementales des routes (DIR), le Gouvernement a identifié des aires de repos et des échangeurs routiers présentant un potentiel pour l'installation de panneaux photovoltaïques. Des appels à manifestation d'intérêt (AMI) seront lancés pour permettre aux entreprises intéressées de proposer des projets d'installations photovoltaïques sur ces sites.

Renforcer l'industrialisation du photovoltaïque en France

En parallèle, le Gouvernement met également l'accent sur le soutien à l'industrie du photovoltaïque en France, afin de renforcer l'autonomie du pays en matière de production d'équipements solaires.

5. La construction de *gigafactories* pour des panneaux solaires made in France

Deux projets ambitieux de *gigafactories* de panneaux solaires ont déjà été lancés. Les entreprises Carbon et Holosolis ont déposé une demande d'agrément pour bénéficier du crédit d'impôt vert. Ce soutien fiscal a pour objectif d'encourager les investissements dans des usines solaires françaises, avec une aide allant jusqu'à 200 millions d'euros. Ces projets d'envergure, représentant respectivement 1,5 milliard d'euros et 700 millions d'euros d'investissements, devraient permettre à la France de jouer un rôle clé dans la chaîne de valeur européenne du photovoltaïque.

6. Le pacte solaire : une filière solidaire et européenne

Un des éléments majeurs de cette politique industrielle est la création du pacte solaire. Ce pacte rassemble des développeurs d'énergie renouvelable, des producteurs et des grands acheteurs pour soutenir la production locale de panneaux solaires. L'objectif est de garantir un approvisionnement en panneaux solaires fabriqués en Europe, réduire la dépendance vis-à-vis des producteurs extra-européens et encourager la transition énergétique sur le long terme.

Le pacte solaire inclut des engagements réciproques : l'État s'engage à renforcer le soutien public au secteur, en mettant en place des critères stricts pour favoriser les panneaux solaires à faible empreinte carbone et à forte résilience. De leur côté, les développeurs s'engagent à privilégier les producteurs de panneaux solaires français et européens, en passant des commandes à long terme.

7. La révision des critères d'éligibilité : l'empreinte carbone au cœur des projets

Dans le cadre de la réforme des appels d'offres, le Gouvernement a annoncé la révision des critères d'éligibilité des projets, avec un focus particulier sur l'empreinte carbone des panneaux solaires. À partir de la prochaine période des appels d'offres « bâtiment », les analyses de cycle de vie (ACV) seront remplacées par une approche simplifiée prenant en compte le mix énergétique des pays producteurs. Cette évolution vise à rendre l'évaluation des projets plus équitable tout en réduisant les risques de contournement des critères.

8. Prime bas carbone et soutien aux panneaux solaires écologiques

En complément, une prime bas carbone sera mise en place pour inciter les consommateurs à adopter des panneaux solaires à faible empreinte carbone. Cette prime visera à compenser le surcoût des panneaux solaires écologiques et à encourager les acteurs du secteur à opter pour des solutions plus vertueuses pour l'environnement.

9. La mise en œuvre du *Net Zero Industry Act* (NZIA)

Enfin, le *Net Zero Industry Act* (NZIA), une initiative de l'Union européenne, entrera en vigueur d'ici la fin de 2025. Ce règlement vise à soutenir l'industrie solaire européenne en la rendant plus résiliente et moins dépendante des importations extérieures. Dans ce cadre, la France jouera un rôle moteur en ajustant ses dispositifs de soutien pour favoriser les critères de résilience des approvisionnements, de cybersécurité et de normes sociales plus strictes.

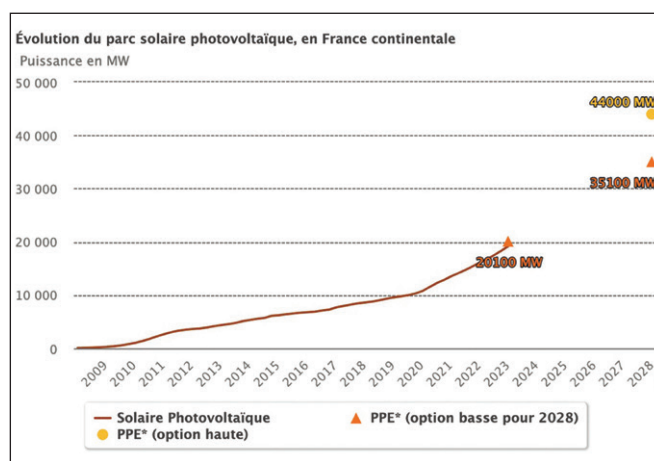
Un virage décisif pour le photovoltaïque en France

Les mesures annoncées par Bruno Le Maire et Roland Lescure marquent un tournant dans le soutien au photovoltaïque en France. En renforçant le soutien à la fois à la production d'électricité solaire et à l'industrie nationale, le Gouvernement œuvre pour faire de la France un leader dans la transition énergétique. Les objectifs ambitieux de déploiement de panneaux solaires et de souveraineté industrielle, accompagnés de mécanismes incitatifs pour les acteurs du secteur, devraient permettre d'accélérer la transition vers une énergie plus propre, durable et indépendante.

En misant sur l'agrivoltaïsme, la solarisation des infrastructures publiques, et le soutien à une industrie locale forte, ces initiatives contribuent à la fois à la croissance verte, à la création d'emplois et à la réduction de la dépendance énergétique de la France. Si elles sont pleinement mises en œuvre, ces mesures devraient permettre au pays de relever les défis énergétiques du XXI^e siècle avec un secteur solaire performant et durable.

M. K.

Pour plus d'informations sur les statistiques et les développements récents du photovoltaïque, consultez les données complètes : <https://rebrand.ly/76qiqf9>.



Irisolaris, spécialiste de la maintenance de centrales photovoltaïques



• **Entretien avec**
• **Clément FAUCHERRE**
• **et Matthieu RICORD**
• directeurs chez Irisolaris

Irisolaris, acteur majeur de l'énergie solaire, continue d'élargir son champ d'action, notamment en ouvrant ses services de maintenance à des centrales photovoltaïques installées par d'autres opérateurs. Clément Faucherre, directeur BU Énergies, et Matthieu Ricord, directeur Maintenance Énergie, exposent leurs visions pour garantir aux propriétaires de sites une production fiable, durable et performante.

Irisolaris est reconnu pour la gestion de ses propres installations. Pourquoi ouvrir maintenant votre service de maintenance aux installations tierces ?

Matthieu : Nous avons bâti une solide expertise en maintenant nos propres centrales, et nous avons à présent les moyens d'étendre ce savoir-faire

à des installations tierces. Beaucoup de confrères n'offrent pas de service de maintenance pour les centrales qu'ils ont installées, ce qui crée un besoin important chez les propriétaires de centrales solaires. Nos principaux clients pour ce service sont les industriels et les collectivités, qui apprécient notre capacité à assurer une maintenance de qualité sur des sites installés par d'autres entreprises.

Clément : Irisolaris a l'avantage de couvrir tout le territoire grâce à un réseau d'agences. Nous pouvons donc intervenir rapidement et efficacement pour offrir une expertise locale et adaptée aux exigences de chaque installation. En centralisant la supervision et en optimisant les déplacements de nos techniciens, nous proposons un service de maintenance performant et personnalisable, idéal pour répondre aux attentes des industries et collectivités locales.

Quels sont les points forts de votre service de maintenance pour garantir la fiabilité et la rentabilité des installations ?

Clément : La vocation d'Irisolaris est de développer des centrales photovoltaïques entre 100 et 500 kWc, de les construire et de les exploiter. Nos clients, à date majoritairement agriculteurs, peuvent bénéficier d'un bâtiment qui sert à leur exploitation, avec la possibilité d'autoconsommer une partie de la production pour une meilleure autonomie énergétique à des prix bloqués. Nous avons actuellement 3 000 sites en exploitation et maintenance et 800 nouveaux projets en construction par an, avec une mise en œuvre pour



chaque projet allant de 12 à 18 mois. Cette expertise de longue date dans la conception et la gestion de nos centrales nous permet de garantir des services de maintenance aussi bien pour nos propres installations que pour celles de tiers.

Matthieu : Notre service de maintenance s'articule autour de trois niveaux d'intervention : le monitoring, les interventions curatives et les visites préventives. Le monitoring permet une analyse en continu des données de production, avec un pré-diagnostic à distance qui nous aide à prévenir des dysfonctionnements. En cas de besoin, nous déclenchons des interventions curatives ciblées. Ces dernières sont essentielles pour réagir rapidement aux pannes et rétablir la production dans les meilleurs délais, limitant ainsi les pertes de rendement pour nos clients.

Clément : Nos centrales photovoltaïques sont principalement situées sur des toitures, ce qui permet de préserver les surfaces agricoles tout en nécessitant une maintenance optimisée pour des sites de moyenne

puissance. Cela nous oblige à réfléchir à la manière de rationaliser la maintenance, avec un ratio coût/puissance différent de celui d'une centrale au sol. Pour ce faire, nous collectons des données précises sur chaque site, comme le ratio production/ensoleillement, centralisées à notre siège de Rousset. En collaboration avec les fabricants d'onduleurs, nous analysons les messages d'erreur et les performances de chaque centrale. Un premier diagnostic avec quantification permet d'éviter un déplacement inutile et de gérer l'intervention de manière optimale : faut-il un ou deux techniciens ? Un véhicule léger ou un équipement spécial pour la toiture ? Ces analyses en amont réduisent les coûts, notamment celui du déplacement, qui reste un poste important dans le budget de maintenance.

Matthieu : Pour garantir la sécurité et la pérennité des installations, nos équipes de maintenance suivent une formation continue. Nous procédons régulièrement à des audits de toiture et adaptons nos interventions aux particularités des sites. Les visites préventives permettent non seulement de se conformer aux exigences réglementaires et assurantielles, mais aussi de minimiser les risques d'incidents et d'assurer la longévité des équipements. Grâce à la norme Q18, ces visites sont réalisées selon un référentiel qualité rigoureux, ce qui assure une analyse approfondie de tous les organes de la centrale. Cela favorise une production fiable et conforme aux standards du marché.

Pourquoi un industriel ou une collectivité devrait-il confier la maintenance de ses installations à Irisolaris ?

Clément : Nous savons que nos clients, qu'ils soient agriculteurs, industriels ou collectivités, recherchent un partenaire capable de comprendre leurs besoins spécifiques. Nos services de maintenance répondent à cette attente, en leur permettant de se concentrer sur leur activité principale. Nos clients nous confient également la maintenance de centrales existantes pour sécuriser leur production et garantir une rentabilité à long terme, sans soucis de

gestion technique. Notre objectif est simple : rendre leur installation la plus rentable et la plus fiable possible.

Matthieu : En plus de notre expertise, nous proposons une formule de maintenance avec des garanties de délais et de disponibilité, et nous offrons une option de performance basée sur le ratio irradiation/énergie produite. Avant de démarrer, nous procédons à un audit détaillé de chaque site, couplé à l'analyse de l'historique. Nos techniciens disposent de toutes les habilitations nécessaires pour intervenir en toute sécurité. Nos références incluent les certifications APSAD D18 (incendie électrique), D19 (thermographie) et D20 (préconisations de montage), ce qui nous permet d'assurer la conformité de nos interventions avec les préconisations des assureurs et les normes de sécurité.

Avec un tel niveau d'expertise et de préparation, quels sont les résultats obtenus aujourd'hui ?

Clément : Grâce à notre organisation et aux outils de supervision déployés, nos résultats sont excellents. Cette année, notre taux de curatif est de 0,36, en nette amélioration par rapport à 0,55 l'an dernier. Ces données montrent notre efficacité en matière de pré-diagnostic et de maintenance préventive, qui nous permettent d'anticiper les pannes et de limiter les interventions d'urgence, souvent coûteuses.

Matthieu : De plus, le taux de réussite de nos interventions curatives en première visite s'élève à 96,47 % sur notre parc. Cela signifie que, dans la majorité des cas, nous rétablissons le fonction-

nement de l'installation dès le premier passage. Cette performance est rendue possible grâce à la planification minutieuse de nos interventions et à la formation continue de nos équipes. Nos clients bénéficient ainsi d'une production optimisée et de coûts de maintenance réduits.

Quel avenir envisagez-vous pour Irisolaris dans le domaine de la maintenance ?

Clément : Notre ambition est d'accompagner la croissance des installations solaires en France en devenant le partenaire privilégié des exploitants de centrales photovoltaïques. En offrant un service complet, nous permettons à nos clients de se concentrer sur leur activité principale, en toute sérénité. Notre expertise et notre réseau d'agences locales nous permettent de nous adapter aux besoins spécifiques de chaque région, garantissant ainsi une maintenance de proximité, fiable et performante.

Matthieu : L'avenir pour nous consiste à renforcer notre offre de maintenance pour répondre aux besoins croissants du marché. Le secteur est en pleine évolution, et nous savons que les attentes en matière de performance et de sécurité sont de plus en plus élevées. Notre force réside dans notre capacité à innover et à anticiper ces exigences, ce qui nous permet d'offrir à chaque client un service personnalisé et de haute qualité pour maximiser la rentabilité et la longévité de son installation. ■

Irisolaris sera présent aux salons :

POLLUTEC : Stand C043 – Hall 1

ENERGAIA : Stand C06 – Hall B3



HYPE

HYDROGEN POWER EXPO

Un projet de



Avec le soutien de



5 – 7
MARS
2025

RIMINI
EXPO CENTRE
ITALIE

HYPE
Hydrogen Power Expo

Un espace entièrement dédié à la discussion des questions liées à l'hydrogène et à son importance pour la transition énergétique.

HYPE présente les technologies, les projets de pointe et les développements futurs dans le domaine de la production et du stockage de l'hydrogène.

INSCRIVEZ-VOUS

Scannez le qr code



Organisé par

ITALIAN
EXHIBITION
GROUP
Providing the future



Deutsche
Messe

En collaboration avec



madeinitaly.gov.it

Simultanément avec



ITALIA
SOLARE
Il futuro è di tutti



Batteries lithium-ion : l'Europe peut-elle s'extraire de la dépendance chinoise ?

Valérie MIGNON,

Professeure en économie,
Chercheuse à EconomiX-CNRS,
Conseiller scientifique au CEPII,
Université Paris Nanterre –
Université Paris Lumières

Carl GREKOU,

Économiste, CEPII

Emmanuel HACHE,

Adjoint scientifique au sein de
la Direction Economie et Veille,
Économiste et prospectiviste, IFP
Énergies nouvelles

Réprésentant plus de 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, le secteur des transports joue un rôle clé dans la lutte contre le réchauffement climatique. La décarbonation de la mobilité constitue un levier majeur des stratégies des États, faisant de l'électrification des transports, et tout particulièrement du secteur de la fabrication des batteries, un des secteurs les plus stratégiques. Les enjeux sont d'autant plus critiques que, si le secteur des batteries lithium-ion (Li-ion) a connu une croissance fulgurante au cours de la décennie passée, celle-ci a surtout profité à la Chine qui en domine l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'extraction des matières premières à la production desdites batteries. Cette hégémonie reflète une politique volontariste mise en place par l'empire

du Milieu depuis plus de deux décennies, alliant internationalisation de ses entreprises (politique du *Go Global*) pour la sécurisation des matières premières – notamment les minerais et métaux critiques – et incitations à l'implantation de firmes étrangères sur son sol pour développer des avantages comparatifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Face à ce constat, quelles pistes s'offrent à l'Europe pour s'extraire de la dépendance chinoise ?

Des capacités de production européenne insuffisantes

L'importance de l'Europe sur la chaîne de valeur des batteries Li-ion s'est considérablement affaiblie. En 2023, seulement 14 % de ces batteries étaient produites sur le sol européen, avec une concentration importante dans quelques pays comme l'Allemagne, la Hongrie, la Pologne et la Suède.

Avec une capacité de production de 281,9 gigawattheures (GWh) en 2023, l'Europe talonne de près les ca-

pacités nord-américaines (295,3 GWh) mais apparaît modeste par rapport à la Chine qui affichait une capacité de production de 1290,2 GWh (soit plus de 4,5 fois les capacités européennes). Toutefois, à l'instar de la production des minerais, la localisation des unités de production biaise la mesure réelle des capacités européennes.

Bien qu'implantées sur le sol européen, la plupart des unités de production sont des ramifications d'entreprises extra-européennes. Plus de la moitié de la production européenne est ainsi rattachée à des entreprises sud-coréennes ou chinoises telles Samsung SSI, LGES ou encore CATL. Des entreprises américaines (Tesla, Microvast...) sont aussi présentes sur le sol européen, portant à plus de 60 % la part de la production imputable à des entreprises extra-européennes.

Le volet institutionnel du plan d'action européen

Consciente de son retard, l'Union européenne (UE) a mis en place de



► Détail de la production d'une batterie lithium-ion. © Shutterstock



◀ La décarbonation de la mobilité constitue un levier majeur des stratégies des États.

© Shutterstock

métaux de l'Europe sont insuffisantes et même inexistantes pour 13 métaux critiques listés par la Commission européenne en 2023. Ensuite, le processus entre l'exploration initiale et le début de la production commerciale d'une mine est long, allant de 7 ans pour le lithium à 17 ans pour le cuivre, et nécessite des investissements financiers considérables. Enfin, les mines ont une image négative – notamment sur le plan environnemental – et passéiste, suscitant souvent une forte opposition locale.

Les objectifs relatifs au raffinage et à la transformation interrogent également. En effet, ces activités sont très énergivores et polluantes, et nécessitent d'accepter leur relocalisation en Europe afin de parvenir à l'objectif affiché de l'UE de production d'au moins 40 % de sa consommation annuelle via ces procédés. Des prix de l'énergie très compétitifs seront en outre essentiels pour rivaliser avec les États-Unis – en plus de la Chine –, qui bénéficient d'abondantes réserves de gaz non conventionnelles et d'un prix de l'électricité relativement bas. Le recyclage, bien que moins polluant localement et a priori plus acceptable,

multiples actions et règlements portant sur l'ensemble de la chaîne de valeur, l'objectif étant de s'extraire de ses dépendances – en particulier à la Chine – tout en retrouvant une importance significative sur le plan mondial. C'est dans cette logique que la liste des matériaux critiques – établie initialement en 2011 par la Commission européenne – est passée de 14 matières premières à 34 aujourd'hui.

Dans la continuité de cette liste, l'UE a adopté le CRMA (règlement européen sur les matières premières critiques, *Critical Raw Materials Act*), publié en mars 2023 et voté en avril 2024, qui vise à développer une production minérale et métallique sur le sol européen pour réduire la dépendance aux fournisseurs étrangers, éviter les pénuries potentielles et minimiser les impacts environnementaux et sociaux de la production de métaux critiques.

Pour cela, il énonce les objectifs non contraignants suivants pour 2030 : « l'extraction dans l'UE doit permettre de produire au moins 10 % de sa consommation annuelle ; la transformation opérée dans l'UE doit permettre de produire au moins 40 % de sa consommation annuelle ; le recyclage effectué dans l'UE doit per-

mettre de produire au moins 25 % de sa consommation annuelle ; pas plus de 65 % de la consommation annuelle de l'Union de chaque matière première stratégique à n'importe quel stade de transformation pertinent ne doit provenir d'un seul pays tiers ».

Des objectifs européens (très) ambitieux

À bien des égards, ces objectifs sont ambitieux. Ainsi, malgré le potentiel sous-exploité du sous-sol européen, l'objectif de 10 % de production sur le territoire européen semble hors d'atteinte pour trois raisons principales. Tout d'abord, les réserves en



► Minéral de spodumène en roche dure, source importante de lithium sur le plan commercial.

© Shutterstock



◀ Conférence de presse du vice-président exécutif de la Commission européenne Valdis Dombrovskis et du commissaire européen Thierry Breton sur la loi sur les matières premières critiques à Bruxelles, Belgique, le 16 mars 2023. © Shutterstock

demande en revanche des investissements lourds. Il pourrait réduire la dépendance aux ressources minières, mais nécessite des infrastructures coûteuses pour la collecte, le tri, le pré-traitement et la transformation des minerais, ainsi qu'une adaptation technologique constante – en particulier aux chimies des batteries des véhicules électriques.

L'UE essaie également de diversifier ses partenariats pour réduire la dépendance aux pays tiers et les risques de ruptures. Même si des accords bilatéraux récents ont été signés avec le Kazakhstan, l'Égypte, la Namibie, l'Australie et le Canada, ceux-ci ne suffiront pas, rendant nécessaire un budget européen dédié aux investissements dans les pays tiers et une diversification des approvisionnements imposée aux entreprises. La stratégie de *friendshoring* (partenariats avec des pays alliés), souvent évoquée, présente aussi des difficultés. Les pays occidentaux, avec des objectifs similaires de neutralité carbone et de décarbonation des transports et de l'énergie, sont en concurrence pour les technologies bas carbone et les matériaux nécessaires à leur déploiement. Cette concurrence pourrait révéler des conflits d'intérêts et freiner la signature d'accords.

► Lépidolite, un minéral de lithium.
© Shutterstock

L'UE cherche en outre à remonter la chaîne de valeur, ainsi que l'illustre la création de l'Alliance européenne des batteries en 2017 visant à construire un écosystème comprenant tous les acteurs du secteur automobile afin de produire des batteries en réduisant leur empreinte environnementale. Les minerais présents dans les batteries pourraient être réutilisés afin de subvenir aux besoins de l'Europe sans pour autant posséder de mines sur son sol. Si tous les projets aboutissent, l'UE serait dotée en 2030 d'une capacité de près de 25 % de la production mondiale de batteries Li-ion grâce à une cinquantaine d'usines.

La piste de la sobriété

Au-delà du CRMA, la sobriété, grande absente du « paquet institutionnel »,

fait son chemin dans la société européenne. Mise en avant comme un levier central dans la lutte contre le réchauffement climatique par le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat en 2022, la sobriété apparaît essentielle pour réduire la dépendance aux matériaux critiques et, par là-même, à la Chine. L'UE pourrait donner l'exemple en promouvant des véhicules électriques plus légers, réduisant ainsi la consommation d'électricité et les impacts environnementaux liés à la production.

Atteindre les objectifs du CRMA nécessitera des efforts considérables en matière d'acceptation sociale, de financement et de diversification des approvisionnements. Si la sobriété métaux fait partie intégrante d'une stratégie durable et autonome pour l'UE en termes de matériaux critiques, elle devra être accompagnée d'un soutien important aux citoyens, qui ne perçoivent généralement pas la notion de « bas carbone » comme impliquant une réduction de leur consommation de métaux. ■

Cet article a été écrit avec la collaboration de Romain Capliez, étudiant à l'Université Paris Nanterre.



Batteries et transition énergétique

Quel avenir pour l'Europe ?



• **Entretien avec**
 • **Silvestros VLACHOPOULOS,**
 • responsable de la recherche sur
 • le stockage d'énergie chez LCP
 • Delta.

Green Innovation : Le rapport de LCP Delta met en lumière les dernières avancées en matière de technologies de stockage de l'énergie. Quelles sont, selon vous, les innovations les plus prometteuses pour l'amélioration des performances et de l'efficacité des systèmes de stockage ?

Silvestros Vlachopoulos : De nombreuses technologies existent concernant le stockage de l'énergie. Les batteries li-ion dominent actuellement le marché et font l'objet d'améliorations technologiques constantes depuis une dizaine d'années. Elles sont en effet l'option la plus compétitive parmi leurs concurrents. La technologie peut encore être améliorée, mais la marge de progression est moins grande que pour certaines options moins

avancées sur le plan commercial, par exemple le stockage de longue durée. En ce qui concerne la composition chimique des batteries, les progrès réalisés dans le domaine des batteries sodium-ion pourraient les rendre plus aptes à concurrencer le lithium-ion à l'avenir, en particulier si l'offre de lithium ne parvient pas à répondre aux besoins toujours croissants en batteries pour le stockage stationnaire ou les voitures électriques.

Quels sont les chiffres-clés sur la capacité de stockage des batteries installées sur le réseau électrique européen à fin 2023, et comment ces données reflètent-elles les progrès réalisés par les pays européens dans leur transition énergétique ?

Fin 2023, le stockage par batterie en Europe était estimé à environ 31 GWh. Environ 2/3 de cette capacité de stockage ont été ajoutés au cours de la période 2022-2023, principalement en raison de la crise énergétique, ainsi que des investissements supplémentaires aux niveaux européen et national, avec l'apparition des subventions et les régimes de soutien pour l'énergie verte, suite à la stratégie de relance de la Covid.

La hausse des prix de l'énergie a amélioré l'analyse de rentabilité du stockage derrière le compteur. Les consommateurs ont commencé à s'inquiéter des coûts de l'énergie et de la résilience et ont donc investi davantage dans les installations photovoltaïques et les batteries à domicile. Parallèlement, les politiques mises en place pour dynamiser l'économie

après la crise de Covid ont entraîné l'arrivée de volumes importants sur le marché. Sur les marchés de stockage les plus avancés, elles ont augmenté la rentabilité des projets à l'échelle de l'entreprise, ce qui a également créé une ruée pour entrer sur le marché pendant qu'il était encore en plein essor.

Le rapport souligne-t-il des disparités importantes entre les pays européens en termes d'installation de batteries et de technologies de stockage ? Si oui, quels sont les facteurs expliquant ces écarts ?

Au niveau de la technologie, la quasi-totalité des systèmes de stockage connectés au réseau électrique européen sont des batteries li-ion, et la grande majorité d'entre elles sont actuellement des batteries LFP. D'autres technologies et d'autres chimies de batteries sont présentes, mais très peu.

En ce qui concerne les pays, il existe d'énormes disparités entre les pays. Examinons-les par segment de marché :

Batteries Behind the meter (BTM) :

L'Allemagne est un pays leader en termes de capacité de batterie, en raison de l'importance du marché des batteries derrière le compteur (installées chez le client). En 2023, environ 540 000 batteries domestiques ont été installées rien qu'en Allemagne, soit environ la moitié de ce qui a été installé dans tous les autres pays européens réunis. Cette domination est liée aux prix élevés de l'énergie dans ce



pays, qui améliorent l'analyse de rentabilité de l'installation d'une batterie pour s'assurer que toute la production de l'énergie solaire photovoltaïque domestique soit autoconsommée. L'Allemagne est également un grand marché pour l'énergie photovoltaïque, et les clients allemands sont en général enclins à apporter de telles améliorations à leur habitation dans le cadre d'un investissement à long terme.

Dans d'autres pays européens, les subventions ont joué un rôle important dans l'émergence des marchés du stockage. Le meilleur exemple est l'Italie, qui a connu une augmentation massive des installations de batteries en 2022-2023 grâce à son programme de subvention *Superbonus*.

La Grande-Bretagne occupe une place prépondérante sur le marché, avec une capacité installée équivalente à celle du reste de l'Europe réunie. Elle a été l'un des premiers pays à ouvrir des marchés pour le stockage (comme leur marché de capacité ou leurs services auxiliaires). Les revenus générés par la fourniture de ces services et la dimension du marché ont suffi à attirer des investissements qui ont finalement permis à la Grande-Bretagne de devenir un leader en Europe. D'un point de vue macroéconomique, la position forte de la Grande-Bretagne sur le marché s'explique par son iso-

lement relatif par rapport aux réseaux européens, qui peuvent potentiellement faire preuve d'une plus grande résilience en raison d'une plus grande interconnexion (au moins dans certains pays). Cependant, à l'avenir, au moins pour le FOM (système connecté au réseau), le marché sera beaucoup plus diversifié car de grands projets de pipelines sont développés à travers le continent et dans pratiquement tous les pays, comme c'est le cas en Italie et en Allemagne.

Le marché européen des batteries de stockage est-il suffisamment soutenu par les politiques publiques, notamment en matière de réglementation et de subventions, pour atteindre les objectifs climatiques et de décarbonation du secteur énergétique ?

Historiquement, le stockage (et la flexibilité) ont été largement négligés par la politique, qui avait tendance à se concentrer davantage sur les technologies offrant des avantages immédiats en termes de carbone (par exemple la production d'énergie renouvelable ou l'électrification), sans nécessairement prendre en compte leur intégration dans le système énergétique au sens large. Cette situation a toutefois évolué au cours des deux dernières années : la nouvelle direc-

tive sur l'énergie est un bon exemple à cet égard. Les marchés s'ouvrent au stockage sur l'ensemble du continent, mais à des rythmes différents. Il existe encore des différences en ce qui concerne les détails de la participation, mais globalement les choses évoluent dans le bon sens. En ce qui concerne le soutien politique direct, de nombreux programmes existent dans plus de quinze pays européens qui récompensent ou subventionnent d'une manière ou d'une autre des projets de FOM. C'est à mon avis un signe des échecs du passé, car dans des structures de marché appropriées et avec des barrières politiques limitées, le besoin de stockage devrait suivre le développement des énergies renouvelables. Dans de nombreux pays, cela ne s'est pas produit et il faut donc intervenir pour garantir le stockage nécessaire au fonctionnement d'un réseau décarbonisé. D'autre part, le soutien au stockage BTM (systèmes installés du côté des clients) est en train de diminuer sur le continent, car de nombreux programmes ont été interrompus et ne sont pas renouvelés.

Comment les technologies de stockage, en particulier les batteries, vont-elles contribuer à la résilience du réseau électrique face aux défis liés à l'intermittence des énergies renouvelables en Europe dans les années à venir ?

Elles joueront un rôle clé ! Le futur système énergétique s'effondre tout simplement sans flexibilité, et les batteries sont l'actif flexible par excellence, car elles peuvent effectuer presque toutes les actions nécessaires pour aider à soutenir le réseau – à l'exception du stockage de très longue durée, 8 heures ou plus, pour lequel d'autres technologies seront plus appropriées. Je souligne simplement que l'effet des énergies intermittentes sur le réseau est déjà apparent. Vous pouvez déjà voir les signes de l'inflexibilité des réseaux européens en regardant le nombre de périodes de prix négatifs sur le continent en 2023 et surtout en 2024.

S. V.

Électrolyse et pile à combustible

Les clés de l'hydrogène vert pour une transition énergétique réussie



L'hydrogène, en tant que vecteur énergétique, est de plus en plus considéré comme une solution prometteuse pour stocker l'énergie excédentaire produite par les énergies renouvelables (EnR). Pour que cet hydrogène joue pleinement son rôle, il est essentiel de faire progresser deux technologies complémentaires : l'électrolyse, qui permet de transformer l'électricité excédentaire en hydrogène, et la pile à combustible, qui restitue cette énergie sous forme d'électricité.

Les atouts de l'hydrogène

L'hydrogène présente plusieurs avantages notables. Il dispose d'un excellent rendement énergétique, produisant jusqu'à quatre fois plus d'énergie que le pétrole ou le gaz naturel. De plus, il constitue une source d'énergie propre : lorsqu'il est utilisé comme combustible, il ne génère que de l'eau, sans émission de dioxyde de carbone (CO₂). L'enjeu majeur est donc de produire cet hydrogène à partir d'énergies renouvelables, en particulier grâce à des technologies comme l'électrolyse et la pile à combustible, qui ouvrent la voie à un « hydrogène vert ».

Actuellement, 95 % de l'hydrogène produit à l'échelle industrielle provient de sources fossiles, principalement par vaporeformage du gaz naturel. Le défi consiste donc à substituer cette méthode polluante par une production d'hydrogène reposant sur les énergies renouvelables.

L'électrolyse : transformer l'électricité en hydrogène

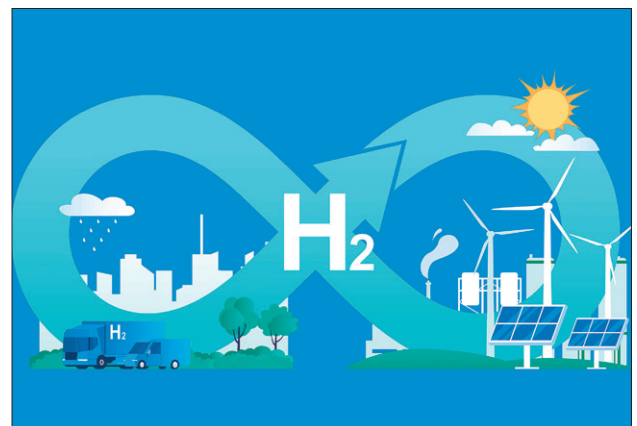
L'électrolyse est un procédé qui consiste à décomposer les molécules d'eau en hydrogène (H₂) et en oxygène (O₂) à l'aide d'un courant électrique. Lorsque cette électricité provient de sources renouvelables, l'hydrogène obtenu est qualifié de « vert ».

Parmi les technologies d'électrolyse, l'électrolyse alcaline est la plus couramment utilisée aujourd'hui. Elle présente l'avantage d'avoir des coûts d'investissement relativement bas et un rendement de 68 à 77 %. Cependant, elle n'est pas particulièrement réactive aux variations de la production d'énergie, ce qui la rend plus adaptée aux sources d'énergie stables comme l'hydroélectricité, et moins efficace avec les énergies intermittentes, telles que le solaire ou l'éolien.

La technologie émergente de l'électrolyse à membrane PEM (*Proton Exchange Membrane*) constitue une avancée majeure. Bien que son rendement soit comparable à celui de l'électrolyse alcaline, elle présente l'avantage de pouvoir s'adapter rapidement aux variations de la production d'électricité, ce qui la rend idéale pour intégrer des sources d'énergie renouvelable intermittentes. Cette technologie, encore relativement coûteuse, bénéficie néanmoins de recherches intensifiées et de soutiens financiers, ce qui laisse entrevoir des perspectives prometteuses pour l'avenir.

La pile à combustible : de l'hydrogène à l'électricité

Une fois l'hydrogène produit, il doit être converti en électricité lorsque cela est nécessaire. C'est ici qu'intervient la pile





à combustible (PAC), qui permet de transformer l'hydrogène en électricité, tout en émettant de la chaleur comme sous-produit. Selon son utilisation, la pile à combustible peut prendre différentes formes : stationnaires pour alimenter des bâtiments en électricité et en chaleur, ou embarquées dans des véhicules, y compris des voitures et des camions électriques.

Les rendements des piles à combustible varient généralement entre 30 et 70 %, mais elles présentent plusieurs avantages par rapport aux batteries traditionnelles : une autonomie plus importante, un temps de recharge plus court, et une plus grande durabilité. Par exemple, Axane, une filiale d'Air Liquide, a développé des piles à combustible dont la durée de vie dépasse les 7 000 heures de fonctionnement continu, avec un coût divisé par six au cours des dix dernières années grâce à des avancées technologiques significatives.

L'hydrogène comme solution pour l'intégration des EnR

Le concept de *Power-to-Gas* (P2G) permet de transformer l'électricité excédentaire, notamment issue des énergies renouvelables, en hydrogène par électrolyse de l'eau, ou en méthane de synthèse via une étape de méthanation. Ce processus offre de nouvelles possibilités pour stocker et valoriser l'énergie excédentaire, en particulier

dans le cadre de projets comme Jupiter 1000 (porté par GRTgaz et ses partenaires) ou Hybalance (coordonné par Air Liquide au Danemark).

Une fois produit, l'hydrogène peut être utilisé de différentes manières :

1) Stockage à long terme : l'hydrogène peut être stocké localement pendant de longues périodes (par exemple, pendant toute une saison), puis reconverti en électricité à travers une pile à combustible pour alimenter le réseau durant les périodes de forte demande.

2) Mobilité propre : l'hydrogène peut être utilisé comme carburant pour des véhicules propres (voitures, bus,

camions), alimentant ainsi les stations-service dédiées.

3) Réinjection dans les réseaux électriques ou de gaz : l'hydrogène produit peut être réinjecté sous forme d'électricité dans des applications stationnaires ou mobiles, ou être injecté directement dans les réseaux de gaz, seul ou en combinaison avec du gaz naturel.

4) Méthanation pour la réduction du CO₂ : en réutilisant le CO₂ capté à partir des fumées industrielles, l'hydrogène peut être combiné pour produire du méthane de synthèse destiné au réseau de gaz. Ce procédé contribue à la réduction des émissions de CO₂, tout en valorisant l'hydrogène dans un processus de recyclage énergétique.

Conclusion

L'hydrogène vert, issu des énergies renouvelables, représente une solution stratégique pour favoriser l'intégration des EnR dans le mix énergétique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. L'électrolyse et les piles à combustible sont des technologies clés qui, à mesure qu'elles se développent et deviennent plus compétitives, pourraient transformer le paysage énergétique mondial. Si ces avancées se poursuivent, l'hydrogène pourrait bien jouer un rôle central dans la transition énergétique de demain.

M. K.





Analyses environnementales depuis plus de 20 ans !

Vous cherchez un laboratoire d'analyses pour vos projets de diagnostic et SSP ?

WESSLING, membre d'ALS, propose

- Toutes les analyses réglementaires des sols et des gaz du sols*,
- Analyses de bioaccessibilité dans les sols*,
- Analyses d'agronomie des sols,
- Analyses de PFAS (eaux*, sols).



Premier laboratoire français accrédité COFRAC pour la BIOACCESSIBILITÉ dans les sols* !

Dans l'environnement et au-delà, nous vous accompagnons dans vos démarches de sécurité et de qualité.

scannez-moi !

WESSLING, qui fait partie d'ALS Limited depuis 2024, est une société internationale et indépendante de laboratoires d'analyses. Implantée à Lyon, WESSLING France a acquis une réputation d'excellence auprès de ses clients nationaux et internationaux. Nous proposons des **prestations analytiques faites sur mesure** pour nos partenaires commerciaux au sein de notre **laboratoire accrédité COFRAC selon la norme NF EN ISO/IEC 17025**.

FR.WESSLING-GROUP.COM

labo@wessling.fr



*Analyses accréditées par le COFRAC.
Accréditation n°1-1364.
Portée disponible sur www.cofrac.fr



De l'eau propre grâce au soleil

• Gaëli PLANTARD,

professeur des universités en chimie des matériaux, Université de Perpignan Via Domitia

• Julie MENDRET,

maître de conférences, HDR, Université de Montpellier

La contamination des ressources en eau par les micropolluants organiques constitue une préoccupation croissante à l'échelle mondiale, posant des défis significatifs pour la qualité de l'eau et la santé humaine.

Ces micropolluants organiques, tels que les pesticides, les produits pharmaceutiques et les composés organiques persistants, sont souvent détectés en concentrations infimes dans l'eau (microgrammes, voir nanogrammes, par litre). Or même à ces concentrations, leur impact sur les écosystèmes aquatiques et sur la santé publique est avéré.

Le réchauffement climatique aggrave la situation, car les variations de température, les changements de régimes hydrologiques et les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent affecter la mobilité de ces substances et entraîner une augmentation de leur concentration dans les réservoirs d'eau.

Les technologies conventionnelles de traitement des eaux usées utilisées dans les stations de traitement des eaux usées (STEU) peuvent se révéler insuffisantes pour éliminer ces substances. Les stations de traitement

contribuent donc à la dispersion de ces substances dans l'environnement. Face à cette réalité, il devient impératif de développer de nouveaux procédés de traitement de l'eau capables d'éliminer efficacement les micropolluants organiques. Des approches innovantes – par exemple, l'utilisation de technologies d'oxydation avancée (TOA), d'adsorption sur charbon actif ou de séparation membranaire – sont nécessaires pour relever le défi croissant de la contamination par les micropolluants.

Les technologies d'oxydation avancées

Les TOA, tels que le procédé d'ozonation et les procédés de photo-oxydation, ont l'avantage d'une destruction non sélective des contaminants organiques, qu'ils soient biotiques (bactérie, agents pathogènes) ou abiotiques (pesticides, produits pharmaceutiques), et répondent donc parfaitement à la problématique posée par les micropolluants. Elles consistent à

produire des espèces chimiques extrêmement réactives (appelées « radicalaires » ou « radicaux hydroxyyles »), capables de rompre les liaisons carbone-carbone qui constituent les différentes substances organiques. Ce processus mène à la dégradation des polluants sous forme de dioxyde de carbone, d'eau et de sels : on parle de minéralisation.

Parmi les TOA, certains procédés convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique pour oxyder et dégrader les molécules organiques – on dit que ce sont des procédés photo-oxydatifs. Dans le cas de la photocatalyse hétérogène, les photons sont captés par un matériau photosensible tel que les photocatalyseurs (dioxyde de titane, oxyde de zinc par exemple). Ils induisent la formation de charges à la surface du catalyseur, qui initient la production d'espèces radicalaires via des processus d'oxydo-réduction.

Les technologies de photo-oxydation devraient permettre d'exploiter la lumière du soleil pour dégrader



► On peut dégrader les polluants organiques dans l'eau grâce à l'énergie du soleil et des photocatalyseurs. Jong Marshes, Unsplash, CC BY.



◀ Photo-réacteur solaire tubulaire de deux mètres carrés, couplé à une cuve de stockage de 300 litres, développé par le laboratoire PROMES. Promes, CNRS, fourni par l'auteur.

des contaminants. Des installations de type « photo-réacteurs solaires » sont toujours en développement en laboratoire. Le but est d'optimiser les rendements, et aussi de voir comment obtenir des coûts environnementaux et énergétiques (en fonctionnement) les plus bas possibles.

Par exemple, des recherches ont été conduites pour évaluer les capacités de photo-réacteurs solaires pour la décontamination des eaux usées issues d'établissements hospitaliers (produits pharmaceutiques), des effluents agricoles (résidus de biocides), la remédiation de nappe phréatique (résidus de solvants comme le trichloroéthylène), mais également le traitement des eaux usées pour des usages agricoles (irrigation) ou industriels.

Pour envisager le déploiement de ces technologies, il est nécessaire d'intensifier les performances des photo-réacteurs solaires et d'optimiser l'utilisation de la ressource solaire.

La ressource solaire disponible pour la photo-oxydation

L'exploitation de la ressource solaire constitue en effet un enjeu majeur dans le contexte climatique, énergétique et environnemental mondial afin d'assurer la transition énergétique. Pour cela, on cherche à mettre en œuvre des technologies durables, à faible coût énergétique, en fonctionnement, grâce à la ressource

solaire. Cette ressource solaire est variable (à cause des nuages, de l'alternance jour-nuit et des saisons...). Quand on cherche à produire de l'électricité (photovoltaïque), c'est un écueil, car il est coûteux de stocker l'électricité produite jusqu'au moment où on en a besoin.

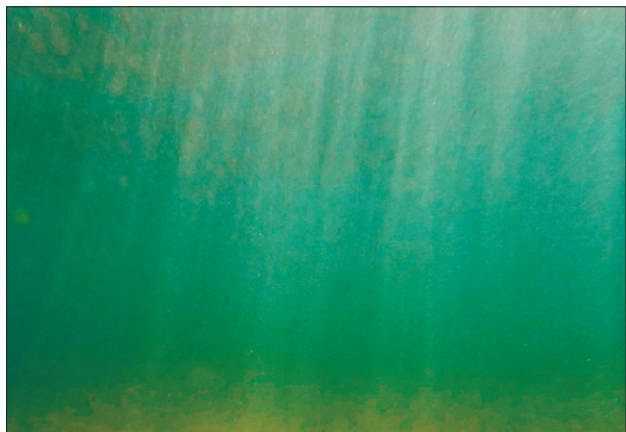
En revanche, pour le traitement de l'eau, les contaminants peuvent être stockés par adsorption sur des colonnes de charbons ou dans des bassins de rétention d'eau usée, en attendant que le soleil brille. Ainsi, pour développer des installations solaires de dépollution de l'eau, on conçoit leur capacité de fonctionnement à l'échelle de l'année, ou on optimise leur capacité afin de répondre à des

besoins ponctuels – saisonniers par exemple pour les zones touristiques. Enfin, le rayonnement solaire se répartit en trois grandes familles de longueurs d'onde : le rayonnement ultraviolet, visible et infra rouge. Les photo-catalyseurs actuellement disponibles sur le marché présentent des limites en termes d'absorption du spectre solaire. Aujourd'hui, seule la plage ultraviolette – qui représente seulement 5 % du spectre solaire – est exploitable pour la photocatalyse appliquée au traitement de l'eau.

Depuis trois décennies, des études sont menées pour améliorer les performances des matériaux photosensibles, avec pour objectif d'augmenter les rendements de photo-conversion et leur capacité à absorber le rayonnement visible (45 % du spectre solaire). Dans ce contexte, les défis sont désormais d'intensifier les capacités des filières existantes, d'améliorer la qualité sanitaire des eaux et de diminuer les coûts énergétiques des installations.

Pour cela, l'avenir des technologies d'oxydations avancées réside dans le couplage avec d'autres procédés : des procédés biologiques (pour éliminer les polluants « biorécalcitrants »,





c'est-à-dire non dégradables biologiquement), des procédés membranaires (éliminer les polluants de faibles tailles, non filtrés par membrane), ou encore avec le cycle thermodynamique solaire (pour activer thermiquement les catalyseurs).

Le projet Aquireuse

Notre projet Aquireuse explore une filière de traitement unique en France, qui repose sur une première étape de photocatalyse solaire, suivie d'une infiltration dans un sol riche en matière organique, qui contribue à dégrader la pollution. En effet, pour certains usages, comme la recharge avec des eaux usées traitées d'une nappe phréatique qui

servira de réserve pour la production d'eau potable, l'eau doit être exempte de micropolluants.

La recharge de nappe phréatique par des eaux usées traitées est une pratique encore inconnue en France, elle est plus répandue en Australie ou en Californie par exemple. Elle permet notamment de lutter contre un phénomène qui se généralise sur les zones littorales, la « remontée du biseau salé ». Lorsque le niveau des nappes phréatiques situées en bordure de littoral baisse du fait de prélèvements trop intensifs, l'eau de mer s'infiltré et contamine les ressources en eau douce, car l'eau rendue salée devient impropre à notre consommation.

Dans le projet Aquireuse, un effluent issu d'une STEU est utilisé pour alimenter un dispositif pilote de photocatalyse solaire où s'opère une première étape de dégradation totale ou partielle des micropolluants. L'effluent ainsi traité est ensuite envoyé pour une infiltration dans des sédiments où la matière organique du sol va contribuer à l'affinage du traitement en poursuivant la dégradation des micropolluants et des sous-produits issus de la photocatalyse solaire. Les premiers résultats sont très prometteurs : une grande partie des micropolluants sont totalement dégradés après leur passage dans la filière de traitement. Ces résultats sont en cours de publication.

Une telle filière, associant un procédé durable et une solution fondée sur la nature, est un exemple d'économie circulaire pour le traitement de l'eau. ■

LE SALON PROFESSIONNEL DES ÉQUIPEMENTS & SERVICES ENVIRONNEMENTAUX

enviro  **pro**

Grand Est

20 & 21 Nov. 2024

*Parc des expositions
de Nancy*



ÉCOCONSTRUCTION

AMÉNAGEMENT

ÉNERGIE

DÉCHETS

EAU

AIR

SOLS

BIODIVERSITÉ

MOBILITÉ

LOGISTIQUE

RSE

...

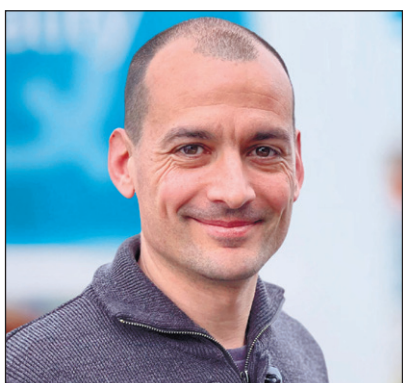
GRATUIT
Entrée
Conférences
Parking...

Toutes les infos sur www.enviropro-salon.com

WESSLING, membre d'ALS

Leader en analyses environnementales

Désormais intégré au groupe international ALS, le laboratoire continue de se positionner comme un acteur clé dans les analyses environnementales en Europe.



• Stéphane FIEVET,
responsable R&D.

À l'origine, WESSLING est un laboratoire spécialisé dans l'analyse environnementale de l'eau, de l'air et du sol afin de détecter des pollutions. Au fil des années, nous avons développé de nombreux services connexes, comme l'agroalimentaire, la cosmétique ou encore la détection d'amiante et de microplastiques. Nous travaillons également sur les matières premières et les produits associés. Le laboratoire a récemment intégré le groupe ALS. Nos activités restent les mêmes, ce qui fait de WESSLING une véritable unité locale solide intégrée à un réseau international.

Un partenaire de confiance pour les diagnostics environnementaux

Nos clients sont principalement des acteurs de la dépollution, notam-

ment les bureaux d'études qui, dans le cadre de leurs diagnostics environnementaux, nécessitent des analyses de pollution des sols avant tout projet de modification, transformation ou travaux. Nous sommes également mobilisés afin d'évaluer les impacts environnementaux sur des friches industrielles, des zones de déversement ou à la suite d'accidents ayant pu engendrer des fuites ou divers déversements.

Notre expertise est sollicitée en amont de projets classés ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement), pour lesquels un état des lieux des sols, eaux et air est indispensable avant la construction. Nous réalisons également des diagnostics sur les grandes infrastructures traversant des milieux sensibles afin d'évaluer l'impact écologique des aménagements prévus.

De plus, nous intervenons lors de transactions immobilières pour des diagnostics avant-vente ainsi que sur des sites orphelins, c'est-à-dire des sites industriels abandonnés pris en charge pour réhabilitation. Enfin, nous assurons la surveillance des milieux aqueux tels que les cours d'eau, rivières et stations d'épuration, assurant ainsi un suivi environnemental global.

Selon les situations, nous intervenons directement sur place ou recevons des échantillons envoyés par les clients afin d'effectuer les analyses. L'objectif est d'obtenir une vue d'ensemble des substances présentes, en fonction des activités industrielles passées du site.

Une application de l'IA prometteuse et efficace

Nous avons initié des actions permettant de réduire notre consommation de solvants. C'est un enjeu majeur





pour notre démarche RSE afin de limiter notre impact environnemental. Pour y parvenir, nous avons mis en place des pré-diagnostic d'échantillons qui nous permettent de réduire le nombre d'analyses à effectuer.

En partenariat avec Tellux, nous continuons de développer un système de pré-diagnostic utilisant un banc de pré-test à caméra hyperspectrale. Il nous permet d'évaluer les teneurs en hydrocarbures et en carbone organique avant l'analyse complète. Nous identifions ainsi si l'échantillon se situe dans une gamme haute, moyenne ou basse de pollution. Ce pré-diagnostic, bien qu'indicatif, nous aide à réaliser l'analyse approfondie en une seule fois, ce qui est particulièrement innovant. Le banc de diagnostic se perfectionne en continu grâce à l'intelligence artificielle. À chaque pré-diagnostic, nous lui transmettons les résultats analytiques détaillés, lui permettant ainsi de renforcer ses prédictions. Nous espérons étendre cette technologie à d'autres paramètres dans le futur.

La robotisation au service de la productivité

Grâce à l'expertise d'ALS et de son avancée technologique en robotisation, nous disposons de laboratoires largement automatisés pour les tâches répétitives. Nous explorons ainsi comment intégrer ces solutions dans nos processus afin d'améliorer le confort de nos équipes tout en optimisant l'efficacité et la productivité. Ce projet est particulièrement novateur, car il repose sur des robots conçus en interne par ALS et non sur des modèles commerciaux.

Un système révolutionnaire de filtration d'eau

Aux côtés du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), nous sommes actuellement en train de développer un système de filtration d'eau. Actuellement partiellement biosourcé, il est basé sur un coproduit largement disponible en région Rhône-Alpes. L'objectif est de le revaloriser afin de concevoir divers types de filtres, comme des filtres à cartouches ou membranaires, capables de retenir la quasi-totalité des polluants organiques. Ces filtres pourraient, à terme, dépolluer complètement une eau contenant des micropolluants tels que des hormones, résidus plastiques, substances perfluorées, médicaments ou perturbateurs endocriniens. Les premiers

tests sont prometteurs, bien que le projet soit toujours en développement.

Les filtres sont conçus pour agir comme un système d'épuration dit *quaternaire* dans les stations de traitement des eaux. Actuellement, ces installations éliminent entre 85 et 95 % des polluants, mais laissent s'échapper les 5 à 15 % restants dans l'environnement. Cette fraction contient des micropolluants que les systèmes actuels ne réussissent pas encore à traiter efficacement. Ce sont malheureusement eux qui ont aujourd'hui des effets désastreux sur l'environnement. Bien que certaines stations aient déjà commencé à investir dans des solutions, les systèmes actuels sont coûteux, encombrants et nécessitent d'importants volumes de charbon actif. Notre projet de filtres à cartouches vise à offrir une solution plus compacte, plus efficace, régénérable avec un objectif de dépollution supérieur à 99 %. Une fois la cartouche saturée, elle est récupérée, régénérée, puis à nouveau mise à disposition du client. Bien qu'ils soient présents en très petites quantités, à l'échelle micro ou nanogramme par litre, les micropolluants posent un défi majeur. Ce projet, qui reçoit le soutien financier de l'Ademe, est prometteur et pourrait représenter une avancée majeure pour la protection de l'environnement.

Un diagnostic de bioaccessibilité des métaux

Nous travaillons actuellement également sur la bioaccessibilité des métaux, car il est devenu évident que considérer la concentration totale d'un métal comme critère de dangerosité est une approche imparfaite. En partenariat avec le laboratoire Junia de l'université de Lille, nous avons mis au point un diagnostic de bioaccessibilité des métaux. La mesure de leur taux, en comparaison aux seuils légaux, offre une approche plus ciblée pour rationaliser les efforts de dépollution. Par exemple, si un site contaminé montre une bioaccessibilité de 50 % pour le cadmium, seule la moitié de la concentration totale nécessitera une intervention. Ce diagnostic est essentiel pour les professionnels de la dépollution, car il aide à éviter des actions coûteuses et parfois contre-productives, en optimisant les efforts de manière plus réaliste et efficace. ■



La phytoremédiation

Quand les plantes dépolluent les sols



◀ *Cistus libanotis*. Xemenendura, CC BY.

• Mouna FAHR,

professeur en biotechnologie et physiologie végétales, Université Mohammed-V, Rabat.

• Abdelaziz SMOUNI,

professeur en biotechnologie et physiologie végétales, Université Mohammed-V, Rabat.

De prime abord, le ciste à feuille de romarin (*Cistus libanotis*) n'a rien de très spectaculaire. C'est un petit arbuste persistant dépassant à peine un mètre et reconnaissable à ses fleurs faites de cinq pétales blancs. Mais sous terre, cette plante méditerranéenne détient d'impressionnantes facultés : celles de dépolluer les sols. Via ses racines, le ciste à feuille de romarin absorbe notamment le plomb présent dans certains sols pollués puis accumule cet élément dans ses feuilles où il est absorbé dans des proportions très élevées. On dit ainsi que c'est une plante « hyperaccumulatrice ». Une possibilité des plus intéressantes, notamment pour protéger les régions minières du nord-est du Maroc de nombreux risques sanitaires et environnementaux.

Trouver de telles plantes et évaluer leur capacité à dépolluer est désormais un champ d'études à part entière : celui de la phytoremédiation.

Qu'est-ce que la phytoremédiation ?

Construit autour du préfixe grec *phyto*, « végétal » et du latin *remediatio* qui signifie « guérison », ce mot savant désigne la capacité de certaines plantes, via notamment les bac-

► Mécanismes d'absorption des métaux lourds par les plantes grâce à la phytoremédiation. Bieby Voijant Tangahu et al, CC BY.

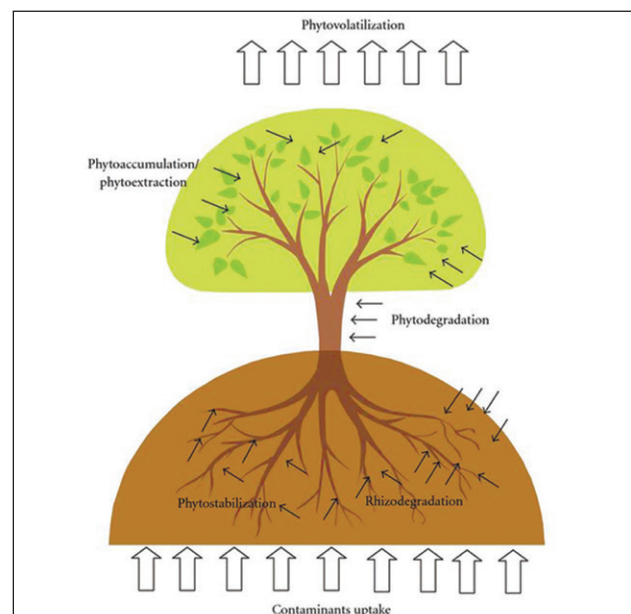
téries associées aux racines, à stabiliser la pollution voire même à décontaminer les sols pollués. Une faculté qui peut présenter de nombreux atouts : là où les technologies existantes pour traiter des sols pollués impliquent le plus souvent une excavation et des traitements chimiques ou physiques, la phytoremédiation a, elle, l'immense avantage d'être peu onéreuse, esthétique et durable.

Elle repose sur deux principales stratégies. La première est la phytostabilisation, c'est-à-dire la capacité de certains végétaux à immobiliser les polluants dans leurs racines, et ainsi empêcher l'arrivée des polluants dans les nappes phréatiques ou la contamination de la chaîne alimentaire.

La seconde est la phytoextraction, c'est-à-dire la faculté de certaines plantes à éliminer les polluants en les absorbant dans leurs racines puis en les concentrant dans leurs parties aériennes. La phytoextraction peut impliquer l'utilisation de plantes accumulatrices ou « hyperaccumulatrices », c'est-à-dire capables d'accumuler des concentrations inhabituelles de métaux dans leurs parties aériennes.

La phytoremédiation, un champ de recherche en pleine expansion

La phytoremédiation semble ainsi une solution magique aisément applicable partout où les activités humaines ont pu polluer les sols. Mais ce champ de la recherche, aussi sur-





◀ Digue de déchets miniers à Touissite. Photo prise à partir d'une autre digue. Fourni par l'auteur.

prenant que cela puisse paraître au vu de son caractère peu technologique et peu coûteux, demeure relativement récent et beaucoup reste encore à découvrir. Aujourd'hui, le nombre d'espèces utilisables à grande échelle reste faible et les connaissances sont encore modestes concernant les mécanismes physiologiques et génétiques à l'origine de la tolérance et de l'hyperaccumulation.

La capacité des plantes à dépolluer les sols, l'air ou les eaux n'a en fait commencé à être un objet d'étude qu'après la Seconde Guerre mondiale, notamment en URSS concernant les métaux lourds et les eaux polluées par des déchets radioactifs. Au même moment, aux États-Unis, l'idée que les plantes puissent dépolluer un environnement devient également populaire via une étude de la NASA sur les possibilités d'assainir la qualité de l'air grâce à certains végétaux, aux résultats pourtant peu probants.

Il faudra finalement attendre les années 1990 pour que les concepts de « phytoremédiation » et de « phytoextraction » soient développés par l'équipe du biologiste Ilya Raskin, qui étudiait notamment les possibilités de dépolluer les champs contaminés près de Tchernobyl. Et en 1991, enfin, le professeur de botanique britannique Alan Baker réalise la première

expérience in situ, montrant la faisabilité de la phytoextraction, démontrant les capacités de phytoextraction de zinc et de cadmium de la *Noccaea caerulea*.

Depuis cet essor de la recherche, le développement de la phytoremédiation reste cependant limité par les difficultés d'adaptation des plantes hyperaccumulatrices connues à des environnements spécifiques. C'est un de nos enjeux principaux de travail sur les terres du Nord-Est marocain polluées par des activités minières.

Comment implémenter la phytoremédiation dans un territoire précis ?

Notre terrain de recherche s'est concentré autour des sites du district de Touissit, ainsi que de la fonderie voisine d'Oued el Heimer, où l'industrie du plomb a laissé de lourdes séquelles environnementales. La mine de Touissit

n'est pourtant plus en fonctionnement depuis 2002, suite à l'épuisement des réserves, et la fonderie a, elle, fermé en 2013, après des dernières années passées à fusionner et raffiner du plomb et de l'argent importés. Mais les ravages causés par ces industries restent bien présents.

Lorsque l'on examine les sols actuels de Oued el Heimer et de Touissit, avant même de mesurer la présence de métaux lourds, un premier constat s'impose : ils présentent une faible teneur en matière organique (entre 0,41 % et 2,80 % pour Oued el Heimer et 0,28 % et 2,07 % à Touissit), qui reflète ce qui est visible en surface : le faible développement de végétaux. Les tentatives de reboisement des environs de la fonderie ont de fait échoué dans cette zone fortement polluée. Cette quasi-absence de végétaux aggrave l'érosion, et donc la dispersion des polluants.

Et si l'on mesure maintenant les niveaux de zinc et de plomb des sols, ceux-ci se révèlent hautement contaminés : l'index de pollution enregistré sur les deux sites varie de 3,62 à 67,90 à Oued el Heimer et de 14,00 à 38,51 à Touissite (un index supérieur à 1 indique un sol pollué).

Identifier des plantes propices à la phytoremédiation

L'enjeu, donc, avant même de mesurer le potentiel de phytoextraction



► Vue d'ensemble de la fonderie d'Oued Himer. Au milieu, zone très touchée par la pollution, très peu végétalisée. Fourni par l'auteur.

BE POSITIVE

Le salon de la transition énergétique

25-27 MARS 2025
EUREXPO LYON, FRANCE

CONSTRUISONS ENSEMBLE UN MONDE DÉCARBONÉ

4 SECTEURS D'EXPOSITION

- Production EnR
- Génie climatique & électrique
- Bâtiment & construction
- Bois énergie

RÉSERVER
UN STAND



www.bepositive-events.com

UN RENDEZ-VOUS
greentech+ 



◀ *Hirschfeldia incana*. Jon Sullivan/Flickr, CC BY.

d'une plante ou d'une autre pour espérer dépolluer le site, est d'abord d'identifier des plantes susceptibles de pousser dans un environnement aussi pollué. Pour cela, il est important de partir du terrain et de rechercher les plantes indigènes qui subsistent sur ces sites malgré le fort stress environnemental induit par la pollution. Nous avons pu ainsi identifier quatorze espèces, de huit familles différentes.

La roquette bâtarde (*Hirschfeldia incana*), par exemple, figure parmi les espèces végétales dominantes sur ces sites pollués par les métaux lourds. Cette espèce possède une biomasse importante et un fort potentiel d'accumulation du plomb (>1000 mg. Kg-1 MS). Dans notre laboratoire, nous l'utilisons donc comme plante modèle pour la compréhension des mécanismes moléculaires de réponse au plomb.

Pour les aspects appliqués, nous avons identifié l'espèce *Cistus libanotis* (ciste à feuille de romarin), une plante hyperaccumulatrice de plomb pouvant atteindre jusqu'à 1400 mg/kg de matière sèche dans ses feuilles. Nous avons proposé un procédé pour son utilisation dans la phytoextraction et la décontamination des sols pollués par le plomb. Une autre espèce intéressante, le harmal (*Peganum harmala*) possède la capacité d'immobiliser et de limiter

la migration des métaux dans le compartiment sol. Cette espèce entrave ainsi le passage des métaux dans la chaîne alimentaire et peut également être utilisée pour le développement d'une économie circulaire dans les régions minières en raison des vertus médicinales de ses graines, un aspect non négligeable pour développer la phyto-rémediation sur un territoire pollué tout en valorisant les débouchés économiques de cette pratique.

De la recherche à la pratique

Car si dans le monde de la recherche, la phyto-rémediation des sols a désormais fait ses preuves, il reste encore beaucoup à faire pour systématiser cette approche. Celle-ci ne manque pas d'atouts : peu chère, elle est éga-

lement largement acceptée par l'opinion publique. Du point de vue des décideurs cependant, la lenteur du procédé (au moins plusieurs années) peut décourager. D'où l'importance de corréler les travaux de recherche fondamentale sur la phyto-rémediation à des perspectives économiques. C'est notamment ce que développe l'agromine (ou *phytomining* en anglais), qui propose d'extraire les métaux des plantes hyperaccumulatrices afin de pouvoir les réutiliser.

Sur les sites miniers du district de Touissit, ainsi qu'autour de la fonderie d'Oued el Heimer, le passage de la recherche à la pratique n'a pas encore eu lieu. Mais alors que nous poursuivons nos recherches sur les plantes les plus propices à la phyto-rémediation de ces anciens sites miniers, les autorités ont d'ores et déjà exprimé leur intérêt à mettre en pratique cette approche sur ces sites.

À l'échelle du Maroc, nous avons cependant pu constater lors de nos travaux de prospections autour d'autres anciennes mines, une végétalisation mise en place afin de stabiliser les digues de déchets miniers générées. Cependant, les plantes utilisées ne sont pas toujours les plus adaptées aux conditions particulières de ces environnements miniers, ce qui entrave la réussite et l'installation à long terme du couvert végétal. ■



▶ *Peganum harmala*. Krzysztof Ziarnik, Kenraiz, CC BY-SA.

GreenGen

Pionnier du transport décarboné

GreenGen est une jeune entreprise innovante qui se distingue par sa flotte de camions roulant exclusivement au bioGNV, une première en France.



Mathieu PADILLA

directeur général de GreenGen.

La genèse du projet

Après plus de 20 ans dans le transport routier, Mathieu Padilla s'est associé à Christophe Charbonnier, ancien dirigeant des Transports Picq et Charbonnier, et à Christophe Rousseau, agriculteur méthaniseur et membre de l'AAMF, afin de répondre aux besoins de la méthanisation en France. « Nous avons constaté qu'aucun transporteur n'était spécifiquement dédié à cette filière. Cela obligeait parfois les acteurs de la méthanisation à faire appel à des camions venant de centaines de kilomètres, un paradoxe pour une démarche à faible empreinte carbone ». Partageant cette vision d'un transport décarboné, les trois associés fondent GreenGen en août 2023. Objectif : fournir un service de transport bas carbone, au plus près des unités de méthanisation, basé sur le biométhane produit localement.

Un transport durable et une flotte 100 % biogaz

Aujourd'hui, GreenGen dispose d'une flotte de 21 camions-citernes, roulant exclusivement au bioGNV, avec pour ambition de porter ce nombre à 40 d'ici deux ans. En misant sur le biogaz, GreenGen se positionne comme pionnier du transport pour la méthanisation, acheminant intrants, digestats et biogaz tout en contribuant à des bilans CO₂ positifs pour ses clients.

Des citernes spécialisées pour les biodéchets et le digestat

GreenGen transporte divers biodéchets : sous-produits animaux, huiles usagées, eaux issues de stations de lavage alimentaire... Les citernes, fabriquées en France, sont équipées de pompes gros débit (6 000 l/min) pour un chargement rapide, de cônes de dépotage permettant l'approvisionnement direct d'équipements d'épandage, et de filtres permettant de garantir une matière saine sans cailloux,

verre ou plastique. En complément, GreenGen développe un réseau de partenaires afin de transporter des biodéchets solides comme le marc de raisin, en benne ou vrac.

Les citernes sont également pourvues de dispositifs de plombage pour garantir la sécurité et la traçabilité, ainsi que de passerelles d'inspection sécurisées pour le nettoyage et le contrôle. Le fournisseur des citernes assure un service après-vente permanent, renforçant ainsi la fiabilité de l'équipement.

Une clientèle diversifiée et des solutions flexibles

GreenGen collabore aujourd'hui avec différents clients : méthaniseurs indépendants, Entreprises de travaux agricoles (ETA), grands groupes tels que Véolia ou Suez.

En testant actuellement une citerne calorifugée, GreenGen envisage d'investir dans des équipements combinant des caractéristiques agricoles et industrielles, garantissant une flexibilité et une polyvalence maximale pour ses clients.

Si le focus se situe actuellement sur le transport en citerne, l'entreprise reste ouverte à de nouvelles opportunités et à des demandes spécifiques. « Dans tous les cas, nous nous engageons à trouver une solution pour chaque demande, que ce soit en interne ou avec nos partenaires ».

Une approche globale de la logistique

La philosophie de GreenGen repose sur une logistique durable et un modèle gagnant-gagnant. En regroupant



des clients aux besoins complémentaires, l'entreprise limite les trajets à vide, optimise les déplacements et réduit les coûts de transport. Elle travaille également à l'amélioration continue de ses véhicules, afin qu'ils soient techniquement optimisés ou adaptés aux contraintes de charge. « À plus long terme, notre stratégie d'expansion pourrait inclure des flottes plus spécifiques afin de répondre aux besoins particuliers de certains clients », ajoute M. Padilla.

Un maillage territorial stratégique

Les véhicules sont déployés en Bourgogne, IDF, Auvergne-Rhône-Alpes, Bretagne, Bordeaux et PACA, créant ainsi un maillage territorial optimal. Les camions peuvent être repositionnés en fonction des besoins des clients tant pour les urgences que pour les opérations régulières. « Sept véhicules restent encore à déployer, ce qui nous permettra une grande flexibilité pour répondre aux exigences spécifiques de chaque zone » précise M. Padilla.

GreenGen prévoit de constituer par région des "pools" de camions positionnés sur des axes stratégiques, près des centres de traitement des déchets ou des zones industrielles. L'entreprise garantirait ainsi une réactivité sans faille et ce modèle permettrait également une réduction des coûts, tout en assurant un transport rapide et efficace dans chaque zone desservie.

Une diversification vers le bioGNV et le CO₂ liquéfié

Dans sa volonté d'élargir son offre et de valoriser la filière biogaz, GreenGen investit dans des citernes pour le transport de bioGNV (liquéfié ou comprimé) et de CO₂ liquéfié. D'ici fin 2025, l'entreprise prévoit de diversifier encore son offre, en assurant le transport de GNL. « Souhaitant accompagner les méthanisations ne disposant pas de solution d'injection, nous étudions le transport de bioGNV comprimé afin d'approvisionner certains industriels ou de permettre une injection locale de ce dernier. Nous interviendrons dans ce cas comme tractionnaires, en fournissant des camions pour déplacer les conteneurs de biométhane jusqu'aux centres d'injection en réseau ». Quant au CO₂ liquéfié, il renforcera le biométhane comme énergie décarbo-



née. En collaborant avec des industriels et des collectivités, GreenGen ambitionne de développer des synergies pour répondre aux besoins de la filière méthanisation et du secteur énergétique.

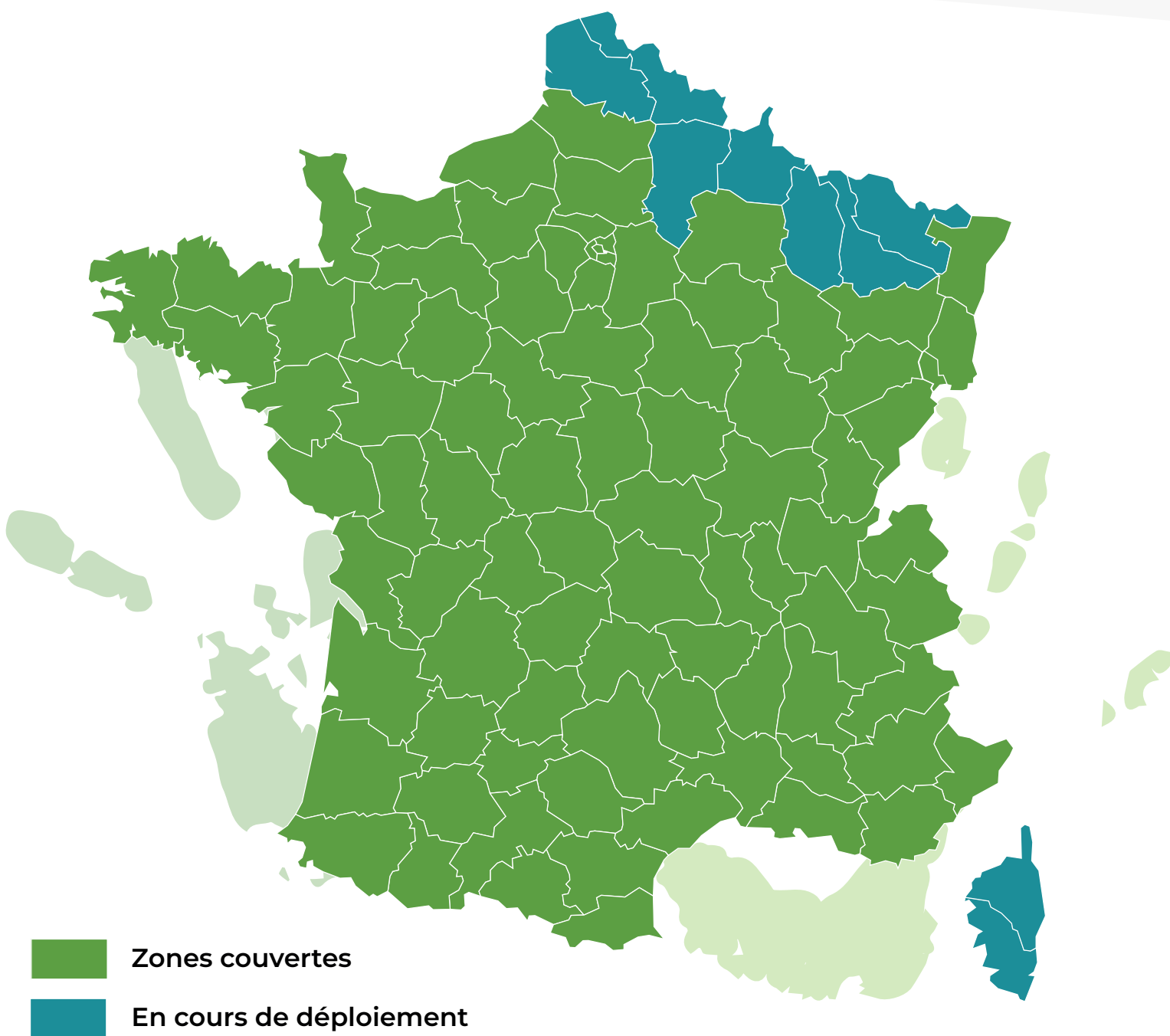
Un service client optimisé

Les conducteurs de GreenGen, tous salariés de l'entreprise, utilisent exclusivement du matériel récent sous contrat d'entretien, garantissant ainsi un service fiable et de qualité. Les conducteurs reçoivent leurs missions sur smartphone, peuvent établir des lettres de voiture dématérialisées et scanner divers documents (tickets de pesée, bons de livraison, etc.). Par ailleurs, tous les véhicules sont géolocalisés en temps réel.

L'équipe de pilotage opérationnel compte aujourd'hui trois personnes : un gestionnaire de flux, une commerciale et un directeur. Cette organisation permet une réactivité maximale face aux demandes des clients.

Un engagement vers la labellisation CO₂

La société vise également à obtenir la labellisation CO₂ en 2025, rendue possible par l'accumulation d'une année complète de données. Un audit est programmé pour évaluer l'empreinte carbone de l'entreprise. Toutes les factures de GreenGen sont déjà conformes aux exigences de la directive RED II, intégrant l'empreinte carbone pour chaque opération de transport. ■



Transporter les colis par le fleuve, solution décarbonée pour livrer en centre-ville ?



▲ La photographie prise en juin 2023 montre des salariés de Fluidis chargeant des colis et les vélos électriques permettant leur livraison sur une barge quai d'Austerlitz à Paris (France). Anicia Jaegler (auteur).

Anicia JAEGLER

Senior Professeure et Doyenne associée à l'inclusivité, Kedge Business School

Laingo RANDRIANARISOA

Assistant professor, Kedge Business School.

L'année 2023, la plus chaude jamais enregistrée, s'est achevée par la COP28 durant laquelle États, entreprises et ONG se sont réunis afin de débattre des solutions pour respecter les accords de Paris. En France, 31 % des émissions de gaz à effet de serre sont dus au transport, dont 41 % au transport routier.

Dans le même temps, le e-commerce continue de progresser avec des livraisons en centre-ville. À l'heure du déploiement des zones urbaines à faibles émissions (ZFE), quelles alternatives au transport routier ? En 2020, le transport de marchandises représentait 364 milliards de tonnes-kilomètres en Europe, dont 76 % acheminées par la route, 16 % par le rail et 6 % par voie navigable.

► Conditions de viabilité de la livraison de colis en zones urbaines par le fleuve. Anicia Jaegler (auteur).

Résultats

poids moyen des colis	nombre de colis	viabilité	durée moyenne de livraison par colis (heures) vélo cargo		gCO2e par colis vélo cargo	gCO2e par colis VUL
8	[300; 1,500]	non	7	[5.8; 6]	[27; 44]	[52; 98]
8	[1,500; 3,500]	oui	7	[5.7; 5.8]	[24; 43]	[65; 98]
8	[3,500; 10,000]	oui	7	5.7	[24; 42]	[52; 96]
8	[10,000; 30,000]	oui	7	[5.7; 5.8]	[24; 41]	[64; 97]
8	[30,000; 100,000]	non	7	[5.6; 6]	[25; 42]	[55; 97]
5	[300; 1,500]	non	7	[5.1; 5.7]	[13; 20]	[52; 95]
5	[1,500; 7,000]	oui	7	5.1	[13; 18]	[49; 95]
5	[7,000; 20,000]	oui	7	[5.1; 5.2]	[12; 17]	[49; 95]
5	[20,000; 60,000]	oui	7	[4.9; 5.1]	[12; 17]	[57; 95]
5	[60,000; 100,000]	non	7	5.1	[12; 17]	[50; 95]
2	[300; 1,500]	non	7	[5.3; 5.6]	[6; 18]	[47; 93]
2	[1,500; 15,000]	oui	7	[5.3; 5.4]	[5; 9]	[47; 93]
2	[15,000; 35,000]	oui	7	[5.3; 5.4]	[5; 8]	[50; 90]
2	[35,000; 100,000]	oui	7	[5.2; 5.3]	[5; 8]	[49; 92]

Créé avec Datawrapper

ACCÉLÉRATION.

+50 000
visiteurs

1300
exposants

400
prises
de parole

**PRIX DE
L'INNOVATION
TERRITORIALE**
avec 8 catégories
de prix

9
secteurs
d'exposition

2
salons tenus
conjointement

Événement majeur pour les décideurs territoriaux, le **SALON DES MAIRES ET DES COLLECTIVITÉS** éclaire les territoires autour des enjeux auxquels ils sont confrontés. C'est un espace de rencontres, d'échanges et de partage qui propose des solutions adaptées aux besoins de chacun.

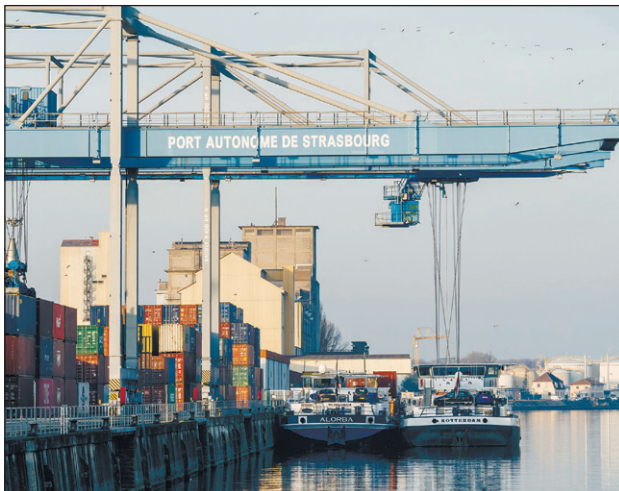
Cette édition sera tenue conjointement avec le **SALON DES SPORTS ET PARASPORTS** et accueillera un nouveau salon : le **SALON DE LA BIODIVERSITÉ ET DU GÉNIE ÉCOLOGIQUE**. Face au dérèglement climatique, les solutions par la nature sont un levier essentiel pour l'adaptation du territoire !

Alors que la fin du mandat approche, c'est le moment de finaliser les projets et programmes menés par les communes et intercommunalités. L'édition 2024 marquera donc le temps de **L'ACCÉLÉRATION**.

DÉVELOPPEMENT & ATTRACTIVITÉS TERRITORIALES | SANTÉ, SOCIAL, ENFANCE & VIVRE ENSEMBLE
NUMÉRIQUE & CONNECTIVITÉ | ÉNERGIE & CLIMAT | CULTURE, LOISIRS & ÉVÉNEMENTS
SÉCURITÉ, PRÉVENTION & PROTECTION | ENVIRONNEMENT & CADRE DE VIE | CONSTRUCTION & AMÉNAGEMENT
SPORTS & PARASPORTS | BIODIVERSITÉ & GÉNIE ÉCOLOGIQUE

www.salondesmaires.com

19-21 NOVEMBRE 2024 | Paris – Porte de Versailles



Avec des fleuves qui traversent ses 22 métropoles, la France possède le plus long réseau européen de voies navigables. Ce n'est pas nouveau : l'Aude et la Garonne permettaient un trafic entre la Méditerranée et l'Océan Atlantique du 1^{er} siècle av. J.-C. jusqu'au Moyen-Âge.

Aujourd'hui, les vracs liquides et solides sont les principales marchandises transportées. Le fleuve peut-il aussi jouer un rôle dans le transport décarboné de colis en centre-ville ?

Le transport fluvial, crédible en ville ?

Pour limiter l'impact environnemental du transport dans les villes urbaines, chercheurs et décideurs ont commencé à étudier la possibilité d'utiliser le transport fluvial pour la livraison de colis en milieu urbain. Ce transport est l'un des modes de transport les plus économes en énergie, car il émet moins de CO₂ équivalent que la route ou le rail.

Il n'est toutefois pas toujours utilisable en raison du manque d'infrastructures fluviales et d'installations connexes, ainsi que des variations du niveau de l'eau dues aux impacts du changement climatique. Ce manque d'infrastructures, associé aux coûts fixes élevés impliqués, pourrait imposer une rigidité substantielle aux services du transport fluvial, limitant sa viabilité économique et sa compétitivité.

Malgré ces défis, les expériences récentes dans plusieurs villes urbaines ont montré que le transport fluvial pouvait être économiquement viable et compétitif pour le transport de marchandises à plus petite échelle dans des zones urbaines denses, dans les bonnes conditions. À savoir la disponibilité des infrastructures, la taille et l'âge des péniches, la consommation de carburant et la connectivité directe entre les origines et les destinations des colis.

Les obstacles à la logistique fluviale urbaine

Ainsi, un cadre d'évaluation de la performance des mesures politiques actuelles et potentielles concernant les opérations intermodales a été développé. Il met l'accent sur les aspects économiques et environnementaux de l'élaboration

► Une barge sur la Saône à Lyon. © Shutterstock

◀ Port autonome de Strasbourg PAS sur le Rhin. © Shutterstock

des politiques de transport intermodal et permet d'évaluer le coût total du transport intermodal de porte à porte entre une origine et une destination données. L'analyse était centrée sur l'implantation d'un nouveau terminal fluvial intermodal en Belgique. D'autres chercheurs ont analysé les chaînes de transport de barges à conteneurs existantes dans les grandes villes de France en utilisant une approche économique des coûts de transaction. Ils ont constaté deux principaux obstacles entravant l'utilisation de la logistique fluviale urbaine.

- le premier est la complexité des chaînes due aux ruptures de charge, au nombre d'acteurs, aux infrastructures inexistantes ou à partager, à la disponibilité des barges, etc.
- le second est le niveau de spécificité des acteurs impliqués. Les acteurs sont privés ou publics. Ils sont différents selon les portions du fleuve.

Ce constat est confirmé par des travaux sur les opportunités de développement d'activités logistiques des ports fluviaux en Pologne (le long de la basse Vistule). L'étude a révélé que le principal défi pour le transport intermodal en Pologne était la restauration des voies navigables intérieures en assurant des fonds suffisants pour les investissements dans les infrastructures de transport et en garantissant leur efficacité.

Le rôle des infrastructures

Les expériences de l'industrie dans le domaine de la navigation intérieure pour la logistique urbaine en Europe montrent que l'utilisation des voies navigables intérieures pourrait être une alternative viable pour le transport de marchandises à plus petite échelle, y compris le transport de marchandises palettisées, de marchandises en conteneurs, de livraisons de colis aux commerces locaux et restaurants, du transport de déchets et de matériaux recyclés, et des déplacements de service.

Plusieurs facteurs contribuent au succès de ces entreprises, notamment les conditions environnementales externes : par exemple, une forte densité de voies navigables intérieures, la position des expéditeurs et des plateformes le long des voies navigables, et l'accessibilité dans les zones de service. Celles-ci dépendent de l'infrastructure





© Shutterstock

urbaine, de la densité de la circulation, de la congestion, des restrictions d'accès, et des contraintes politiques telles que les plages horaires et les zones environnementales. L'utilisation de navires et d'équipements spécialisés pourrait également faciliter considérablement les opérations de transbordement.

Les spécificités du transport de colis urbain

Mais le cas du transport fluvial intérieur dans le contexte spécifique de la livraison de colis a fait l'objet de peu d'études. Seuls deux travaux de recherche, à notre connaissance, présentent un modèle de calcul de coûts conçu pour aider les opérateurs à estimer avec précision les coûts associés au transport fluvial intérieur pour les envois de colis. Ils soulignent la nécessité de mener d'autres recherches pour améliorer le réalisme des résultats en prenant en compte des facteurs de coûts supplémentaires. S'appuyant sur ces travaux, un modèle complet de logistique fluviale a été élaboré, avec des coûts fixes et variables pour les barges, les quais et les derniers cent mètres (vélo cargo ou VUL) à partir d'un quai en dehors de la ville. À partir de ce modèle, un outil d'aide à la décision simulé avec 2 688 scénarios et testé avec six métropoles françaises (Paris, Bordeaux, Lyon, Nantes, Strasbourg, Toulouse) a été proposé.

300 à 100 000 colis par jour

La livraison de colis par le fleuve impose aussi des ruptures de charge pour atteindre le client final. Le premier échelon concerne le transport par barge de l'extérieur vers l'intérieur de la ville ; le second échelon concerne le transport du port vers le destinataire à vélo-cargo ou véhicule utilitaire léger. Les hypothèses prises à partir d'une revue de littérature et d'entretiens auprès de 16 experts acteurs de la logistique fluviale sont les suivantes : deux types de barges différents, 3 rotations possibles par jour au maximum, 4 quais maximum, 3 types de colis (1,5 kg, 4,5 kg, 7,5 kg), de 300 à 100 000 colis (représentant la quantité minimale identifiée et la quantité maximale, pic de Noël par exemple). Grâce à l'intégration de cet outil, les décideurs peuvent ob-

► Le nouveau port de Gdansk au bord de la Vistule en Pologne. © Shutterstock

tenir des informations précieuses et optimiser leurs stratégies pour des systèmes de transport efficaces et respectueux de l'environnement. En connaissant la typologie des colis, leur nombre et la configuration du port et de l'infrastructure routière, l'outil fournit une première décision à un niveau macro pour les décideurs et les parties prenantes de l'industrie de la logistique urbaine.

Chaque ville possédant des caractéristiques uniques, des études plus ciblées sont ensuite nécessaires pour avoir des chiffres précis adaptés à des contextes individuels.

Des conditions et des limitations

Ainsi, pour atténuer les impacts économiques et environnementaux, le transport fluvial exige une optimisation du chargement des barges. Pour cela, favoriser la collaboration entre les parties prenantes est impératif pour optimiser le volume de colis transportés. La taille des paquets limite aussi la quantité de colis dans les barges, tandis que le poids est moins contraignant. Une réflexion est également à mener sur l'emballage le plus efficace lors des transbordements (sac, palettes, etc.).

En revanche, la capacité du deuxième mode de transport – principalement des vélos – est limitée par le poids et la taille. En outre, charger un nombre substantiel de colis dans des barges va de pair avec un certain nombre de contraintes. Le modèle suppose trois rotations par jour, ce qui nécessite déjà des horaires de livraison différents par rapport au système actuel.

Augmenter la quantité de barges disponibles est aussi une option, mais cela pose une contrainte supplémentaire : la capacité de la rivière. Au deuxième échelon, un volume élevé de colis correspond à un nombre significatif de vélos de livraison, ce qui pourrait saturer les pistes cyclables existantes.

Par conséquent, les autorités locales doivent intégrer l'infrastructure de vélos de livraison dans les plans de développement du centre-ville. Il faut par ailleurs prendre en compte, dans un contexte de changement climatique, que l'utilisation de la rivière peut être compromise lors d'événements extrêmes tels que les sécheresses ou les inondations. ■



BEPOSITIVE 2025

Un salon au cœur de l'innovation pour un avenir énergétique durable



• **Entretien avec**
 • **Raphaël GOERENS,**
 • directeur du salon BEPOSITIVE

Quelles sont les grandes tendances et perspectives du salon en matière de transition énergétique et durabilité ?

Les tendances du salon BEPOSITIVE 2025 reposeront sur deux axes majeurs : l'accélération du développement des énergies renouvelables (EnR) et la rénovation énergétique des bâtiments. Ce salon, qui se positionne comme le rendez-vous des acteurs engagés dans la transition énergétique, se distingue par une approche concrète avec des solutions applicables immédiatement par les professionnels, quel que soit leur secteur d'activité.

Un des autres points clés pour 2025 sera l'adaptabilité. Le secteur doit

s'ajuster aux évolutions climatiques, réglementaires et technologiques, ce qui implique une capacité à intégrer de nouvelles normes et innovations. BEPOSITIVE se veut un lieu de convergence, rassemblant les professionnels en quête de solutions durables et les incitant à agir concrètement pour accélérer cette transition.

On retrouve un découpage du salon en 4 parties : Production EnR, Bois Énergie, Génie climatique & électrique, Bâtiment & Construction. Avez-vous des projets ou des initiatives spécifiques pour favoriser les collaborations entre les acteurs des filières ?
 BEPOSITIVE favorise depuis longtemps la collaboration intersectorielle, réunissant sous un même toit des

acteurs variés des énergies renouvelables, du bâtiment et des autres secteurs liés à la transition énergétique. Cette approche permet de décloisonner les métiers et d'encourager les synergies entre filières, indispensables pour progresser efficacement. Pour renforcer cette dynamique, l'édition 2025 proposera des parcours de visite sur mesure et transversaux, conçus en collaboration avec une cinquantaine de partenaires. Ces parcours permettront aux visiteurs de découvrir des exposants, des produits et des contenus à travers un fil rouge unifiant les différentes filières et technologies. Cette transversalité vise à enrichir l'expérience des participants tout en consolidant les liens entre les différents secteurs.





Quelles initiatives envisagez-vous pour rendre cette édition plus impactante en termes de durabilité ?

L'engagement pour la durabilité s'illustre par plusieurs initiatives concrètes. D'abord, la sobriété est au cœur de l'installation générale : le salon privilégie l'utilisation d'équipements réutilisables et a éliminé les moquettes dans les allées, réduisant ainsi l'empreinte écologique. Ensuite, BEPOSITIVE met en place un dispositif de valorisation des déchets alimentaires, en partenariat avec GRDF, pour les transformer en compost et biogaz. Un calculateur d'émission de CO₂, développé par l'Ademe, est disponible sur notre site web pour sensibiliser les participants à optimiser leurs déplacements, encourager le co-voiturage et limiter l'empreinte carbone de l'événement. Ces initiatives visent à réduire l'impact environnemental tout en valorisant des actions concrètes et mesurables.

L'innovation sera au cœur de cette prochaine édition. Comment allez-vous la mettre en avant ?

L'innovation occupera une place de choix à BEPOSITIVE 2025, avec plusieurs possibilités pour les exposants de promouvoir leurs nouveautés. Outre les canaux digitaux comme le site web, l'application BEPOSITIVE Connect et des bornes interactives, le salon organise les BEPOSITIVE Awards. Ces prix, décernés par un jury d'experts, valorisent les innovations selon les quatre grandes ca-

tégories du salon (Production EnR, Bois Énergie, Génie climatique & électrique, Bâtiment & Construction). Les entreprises nominées auront l'occasion de présenter leur projet sous forme de pitches devant le jury qui élira les lauréats, et le public qui pourra voter avant et pendant l'événement. Par ailleurs, un parcours de visite dédié aux innovations permettra aux participants de découvrir les dernières avancées technologiques dans les différents secteurs du salon.

BEPOSITIVE 2025 prévoit un programme riche en animations et temps forts. Quelles thématiques seront au programme ?

Le programme de BEPOSITIVE 2025

sera riche et varié, organisé autour de cinq espaces dédiés : une agora pour les tables rondes, trois ateliers axés sur le partage d'expériences, et un forum exposant pour mettre en avant les projets des entreprises présentes. Les thématiques principales s'alignent sur les quatre grands secteurs du salon, avec des sujets d'actualité tels que l'économie circulaire pour le bâtiment, l'autoconsommation collective et le stockage énergétique pour les EnR, ainsi que les solutions hybrides et la qualité de l'air pour le génie climatique. Le fil rouge du salon reste la montée en compétences, l'accompagnement des professionnels face aux défis de la transition énergétique, et l'adoption des meilleures pratiques.

Trois cycles de conférences mettront en lumière des thématiques spécifiques : les matériaux biosourcés, l'agrivoltaïsme, et la durabilité des menuiseries. Outre ces cycles, un espace de démonstration photovoltaïque accueillera la première édition française des European Solar Games, une compétition d'installation photovoltaïque en direct qui mettra en avant les bonnes pratiques de sécurité et d'installation. Huit équipes de professionnels du secteur concourront, offrant une animation vivante et instructive pour les visiteurs. ■



EnerGaïa 2024

Un forum au service de la transition énergétique et des innovations vertes



La 18^e édition du Forum EnerGaïa se tiendra les 11 et 12 décembre 2024 au Parc des expositions de Montpellier. Cet événement incontournable du secteur des énergies renouvelables (EnR) attire chaque année un public de professionnels et d'experts venus découvrir les dernières innovations, solutions et technologies de la transition énergétique. EnerGaïa est ainsi devenu un véritable carrefour d'échanges et d'opportunités pour les acteurs publics et privés, offrant des réponses concrètes aux enjeux d'un monde en pleine transformation énergétique.

Organisé par la société SPL Occitanie Events et soutenu par la Région Occitanie, ce forum réunit l'ensemble des parties prenantes de l'écosystème des énergies renouvelables : producteurs, distributeurs, installateurs et fournisseurs de services. De la production à la gestion, en passant par les applications dans les secteurs clés tels que l'énergie, l'agriculture, l'industrie et le bâtiment, toutes les facettes de la transition énergétique sont abordées. Après trois années de forte croissance, le salon a doublé le nombre de ses participants, avec 500 exposants et 18 000 visiteurs attendus pour cette nouvelle édition.

Les Trophées de l'Innovation 2024 : un rendez-vous incontournable

Pour la première fois, le Forum EnerGaïa met à l'honneur les innovations du secteur avec les Trophées de l'Innovation,

en partenariat avec *La Tribune*. Ces trophées sont destinés à récompenser les avancées techniques des exposants dans quatre catégories inédites : Prix International, Prix Déployabilité, Prix Ecosystème et Prix Circularité. Un comité d'experts a sélectionné 11 innovations qui seront présentées dans un espace dédié, la Galerie de l'Innovation, au cœur du Forum (Hall B3). Les lauréats seront désignés à l'issue de pitches devant le jury et le public, lors d'une cérémonie de remise des prix le jeudi 12 décembre.

La Région Occitanie décernera également un Prix Spécial Coup de Cœur à l'un des projets nominés.

Chiffres clés :

- 500 exposants
- 18 000 professionnels attendus
- 23 % d'exposants internationaux*
- 50 pays représentés* (Top 3 : Espagne, Chine, Allemagne)
- 5 halls d'exposition sur une surface de 24 000 m²

(*chiffres 2023)

Les 11 nominés des Trophées de l'Innovation 2024

Catégorie Prix International

Cette catégorie met en avant les solutions ayant un fort potentiel de développement international et d'exportabilité :

- CITEL - Pour sa gamme de parafoudres DPVN, spécialement conçue pour protéger les installations photovoltaïques tout en répondant aux normes internationales les plus strictes.
- FHE - Pour sa technologie Inelio®, une pile thermique compatible avec toutes les sources d'EnR, adaptée notamment aux régions à climat chaud comme l'Afrique, permettant de stocker l'énergie pour un usage ultérieur.

Catégorie Prix Déployabilité

Ce prix récompense les innovations faciles à mettre en œuvre, en particulier celles qui permettent une rapide adoption sur le terrain :

- FEEDGY - Pour ses modules agrivoltaiques intégrant une

technologie photonique permettant de partager la lumière entre les cellules solaires et les cultures agricoles.

- KLAAS ALL ROAD - Pour la grue sur remorque K350E, 100 % électrique et performante, offrant une mise en place rapide.
- SWEEN PILOTIC - Pour son émetteur radio Linky sans wifi ni configuration, facilitant la gestion des données énergétiques en temps réel.

Catégorie Prix Ecosystème

Les projets nominés dans cette catégorie mettent l'accent sur la collaboration avec des acteurs locaux et une approche innovante :

- EPC SOLAIRE - Pour sa solution iNovaR, une fixation innovante de panneaux solaires pour la rénovation des toitures terrasses des grands bâtiments.
- SERENYSUN - Pour sa communauté d'énergie renouvelable, permettant aux professionnels et particuliers de bénéficier d'énergie verte locale à un tarif maîtrisé.
- VOLTALIA - Pour son projet agrivoltaïque bovin en Haute-Savoie, visant à concilier production d'énergie solaire et élevage bovin durable.

Catégorie Prix Circularité

Ce prix récompense les innovations favorisant l'économie circulaire, la réduction des ressources ou le recyclage :

- DMEGC SOLAR - Pour son module photovoltaïque Infinity RT, doté de la technologie LRF, un film réfléchissant innovant améliorant la performance et la durabilité des panneaux solaires.
- SPARQ - Pour son supercondensateur Ligna, alimenté par énergie solaire et fabriqué à partir de matériaux biosourcés, une alternative durable aux piles traditionnelles.
- THEVEN ENERGY - Pour ses générateurs solaires Ecogène®, alimentés par des batteries recyclées, permettant d'offrir de l'énergie propre dans des zones hors réseau.

Un forum au service de la transition énergétique

Le Forum EnerGaïa 2024 ne se limite pas à un simple salon d'exposition. C'est un véritable lieu de réflexion et de prospective, où se discutent les grandes questions de la transition énergétique à travers des conférences, tables rondes et ateliers. Le programme est ambitieux, avec plus de 100 événements sur des thématiques variées, allant des solutions concrètes pour la transition énergétique aux enjeux d'emploi et de formation dans les métiers verts.

Parmi les points forts du programme, une table ronde d'ouverture le mercredi 11 décembre sera dédiée à la question suivante : « EnR : comment rendre la filière attractive à tous les publics ? ». Cette question sera abordée par des experts en présence de professionnels des secteurs concernés. Le jeudi matin, la thématique de l'éolien en mer sera au cœur des débats.

Le Forum EnerGaïa sera aussi un lieu de rencontre pour les entreprises de la filière, avec des pavillons thématiques regroupant des exposants et des espaces de pitches. Au programme :

- Pavillon Bâtiment durable (Hall B1)
- Pavillon Chaleur solaire (Hall B1)
- Pavillon Emploi et formation / Espace Métiers (Hall B3)

Ce dernier pavillon, consacré aux métiers de la transition énergétique, se tiendra en partenariat avec France Travail et l'UIMM Occitanie, et inclura des activités comme des escape games et des job datings pour favoriser le recrutement dans le secteur des EnR.

Un focus particulier sur la chaleur solaire

Pour la première fois, un pavillon spécifique sera dédié aux enjeux de la chaleur solaire, une technologie en forte croissance dans le secteur des EnR. Le pavillon, animé par Enerplan, le syndicat des professionnels de l'énergie solaire, proposera des conférences et des démonstrations sur le solaire thermique et la géothermie, deux technologies complémentaires et particulièrement efficaces. Les objectifs de la France en matière de chaleur renouvelable sont ambitieux : multiplier par 4 la production de chaleur géothermique d'ici 2035, et par 7,6 celle du solaire thermique. Ce pavillon mettra en avant des projets exemplaires, en France comme à l'étranger, démontrant le potentiel de ces solutions dans des secteurs aussi divers que le résidentiel, l'immobilier tertiaire et industriel.

Informations pratiques

- Dates : mercredi 11 décembre 2024 de 9 h à 18 h, jeudi 12 décembre 2024 de 9 h à 17 h.
- Lieu : Parc des expositions de Montpellier, Route de La Foire, 34470 Pérols
- Accès : par l'accueil A (nord) ou l'accueil B (sud)
- Entrée : gratuite, réservée aux professionnels
- Site internet : energaia.fr
- Réseaux sociaux : LinkedIn, X.

Le Forum EnerGaïa est un rendez-vous majeur pour tous les acteurs de la transition énergétique, un lieu de partage des meilleures pratiques, d'innovation et de création de synergies pour accélérer la mise en œuvre de solutions durables à l'échelle mondiale. Ne manquez pas cette occasion de découvrir les tendances et les projets qui façonneront demain. ■

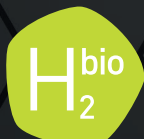




5-6 février 2025
salon PARC EXPO Nantes

l'événement → Biotransition

le rendez-vous
bioénergie
biochar
bioéconomie
ccu/s &
défossilisation



biohydrogène



biogaz



biométhane



biomatériaux



biochar



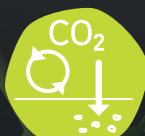
bois énergie



défossilisation



carbone renouv.



beccus



carburants

450 exposants
5000 professionnels

200 conférenciers
45 pays

www.bio360expo.com
suivez @bio360expo sur

SOUTENU PAR



PARTENAIRE



ORGANISATEUR

