

COURANTS

1

1^{er} semestre 2024

La revue d'un port en mouvement



PORTS ET NOUVEAUX CARBURANTS : UNE ÉVIDENCE ?

QU'APPELLE-T-ON « NOUVEAUX CARBURANTS » ? POURQUOI LES DÉVELOPPER ?

3 GRANDS TEMOINS PARTAGENT LEUR VISION ET LEURS ANALYSES

Clément Beaune, ministre délégué chargé des Transports,
Thibault Cantat, chimiste et chercheur,
et **Mikaa Blugeon-Mered**, spécialiste de la géopolitique de l'hydrogène



12 PRODUIRE

Quel rôle jouent les ports dans le développement
des nouveaux carburants ?

Verso Energy, Grandpuits, Air Liquide Normand'Hy,
KerEAUzen et Salamandre... **Quels sont les grands
projets en cours** sur l'axe Seine ?

20 UTILISER

Les nouveaux carburants sont-ils **LA solution pour
décarboner le transport maritime et fluvial** ?

Quelles sont les utilisations possibles **dans l'industrie** ?
Et quelles sont les perspectives pour **le transport aérien** ?

29 COOPÉRER

À l'échelle internationale, européenne ou régionale,
**comment la coopération entre les acteurs
économiques s'organise-t-elle** pour expérimenter
les carburants de demain ?

édito



J'ai le plaisir de vous présenter Courants, nouvelle revue thématique de HAROPA PORT. Son nom évoque l'univers fluviomaritime, mais également les courants de pensée et les forces à l'œuvre dans la transformation de nos sociétés. Et de fait, dans un monde qui se complexifie, face à des enjeux cruciaux, prendre le temps d'explorer ces "courants" est essentiel.

Nous avons donc décidé de faire de notre magazine un lieu de réflexion sur des sujets de fond structurants pour l'avenir, qui intéressent l'ensemble de nos partenaires. Aussi avons-nous choisi de privilégier l'analyse et la prospective. Pour nourrir Courants, nous nous appuyerons sur notre expertise mais nous miserons aussi sur l'ouverture et l'intelligence collective : des spécialistes et personnalités enrichiront ainsi le contenu de notre revue.

Pour ce premier numéro, nous avons choisi d'explorer les nouveaux carburants. Un choix motivé à la fois par le rôle historique des ports dans le secteur de l'énergie et l'importance de ces carburants pour réussir la transition énergétique. Un choix également justifié par l'engagement de notre établissement : HAROPA PORT participe activement aux projets sur cette thématique. La présence sur nos ports d'acteurs historiques prêts à adapter leur outil de production et l'arrivée d'investisseurs ne font-ils pas de l'axe Seine la « Vallée des nouveaux carburants » ?

Que représentent-ils sur le marché énergétique planétaire, européen, français ? Comment les produire et les utiliser ? Quelles coopérations font-ils émerger ? Vous trouverez dans ces pages des éléments de réponse à ces questions.

Bonne lecture !

Stéphane RAISON,
directeur général et président
du directoire HAROPA PORT





**Les ports sont
confrontés à**

UN ENJEU DURABLE

**LES ENJEUX DE LA TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE N'ONT JAMAIS ÉTÉ AUSSI
PRESSANTS QU'AUJOURD'HUI, AVEC LA
NÉCESSITÉ DE RÉDUIRE RAPIDEMENT ET
FORTEMENT LES ÉMISSIONS DE GAZ À
EFFET DE SERRE.**

RENCONTRE AVEC CLÉMENT BEAUNE.

**« Tous les secteurs doivent contribuer à
la décarbonation et chacun doit le faire
à sa manière, mais d'une façon coordonnée. »**

**Clément Beaune est depuis juillet 2022,
ministre délégué auprès du ministre
de la Transition écologique et de la
Cohésion des territoires,
chargé des Transports.**

Comment le Gouvernement a-t-il choisi de répondre à la question fondamentale des énergies de demain ?

Le Gouvernement a fait un choix pionnier : celui d'entreprendre une démarche de planification écologique. Le présupposé fondamental de cette démarche en matière de transport est de considérer que tous les secteurs doivent contribuer à la décarbonation, et que chacun doit le faire à sa manière, mais d'une façon coordonnée. Si le cap commun est bien déterminé, et l'ensemble de solutions identifié (électrification, recours à des énergies alternatives, sobriété, report modal, intermodalité, etc.), le mix est, en effet, différent pour chacun des modes.

Parlez-nous de ce cap commun.

L'Union européenne, et la France y est pour beaucoup, s'est dotée d'un objectif majeur, celui d'être le premier continent neutre en carbone en 2050. Cela passe par des étapes, en particulier l'étape 2030 avec l'objectif de réduction de nos émissions de 55% d'ici la fin de la décennie. L'année qui vient de s'écouler nous a fait changer de dimension. En quelques mois, l'Union européenne a adopté un ensemble cohérent de législations historiques, le « Fit for 55 », donnant d'un coup à l'UE une crédibilité inédite sur la scène extérieure et une vision claire à nos acteurs, notamment économiques et industriels. La crise en Ukraine est venue confirmer la pertinence de ce cap, et accélérer encore nos efforts en matière de transition énergétique. Dans ce contexte, il faut « faire feu de tout bois » et engager, de façon accélérée, la décarbonation de tous les modes de transport.

La France et l'Europe ont clairement défini des objectifs ambitieux pour le secteur du transport...

Parmi eux, on compte en effet la réduction de 90 % des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime d'ici 2050, ainsi que la promotion de carburants durables dans le transport aérien. De son côté, le transport fluvial est une réponse à très forte valeur économique, écologique et énergétique, qu'il nous faut encore développer. Ces objectifs sont à la fois un défi et une opportunité pour les ports qui jouent un rôle clé dans la réalisation de ces ambitions.

Quelle est la place des ports dans ce contexte ?

Les ports maritimes et fluviaux sont en effet confrontés à un enjeu durable. Ils doivent contribuer à consolider l'avantage concurrentiel du transport maritime et du transport fluvial, structurellement sobres, tout en facilitant leur décarbonation : cela passe par l'adoption de nouveaux carburants plus propres, tels que les biocarburants et demain l'hydrogène, ou l'ammoniac, et par l'investissement dans des infrastructures adaptées à ces nouvelles technologies. Les ports maritimes ont par ailleurs un rôle majeur à jouer dans les arbitrages intermodaux : 80 % des marchandises arrivent par eux, et c'est là que se font les choix d'utiliser ensuite le rail, la voie d'eau, ou le transport routier. Avoir des ports à la pointe en termes de report modal, c'est garantir une demande de fret massifiée partout en France.

Quel soutien l'État apporte-t-il aux ports ?

Il se manifeste de différentes façons, que ce soit en doublant les crédits associés aux ports par la stratégie nationale des ports, par les contrats de plan État-Régions ou encore par l'action de Voies navigables de France. À ce titre, le modèle de HAROPA PORT, qui intègre au-delà du port du Havre celui de Rouen et également le port de Paris, 1^{er} port fluvial français, constitue un atout certain : la desserte de l'ensemble du bassin de la Seine par le mode fluvial et l'accès aux 25 millions de consommateurs franciliens font de la Seine un vecteur central de décarbonation de nos modes de consommation et de HAROPA PORT un acteur-clé. Les ports sont aussi des lieux historiques d'innovation et de développement industriel. C'est là que ce sont développées toutes les grandes industries de l'après-guerre, et nous voyons aujourd'hui que c'est là que se développent les nouveaux bassins de l'industrie de demain, en particulier autour des enjeux d'énergie. C'est ainsi qu'en plus de mettre à disposition des armateurs les carburants de demain, nous voyons de plus en plus clairement qu'ils joueront un rôle majeur dans leur production. Pour le secteur maritime, bien sûr, mais aussi pour le secteur aérien, parce que les synergies sont évidentes. Ce rôle de pionnier des développements industriels est essentiel. C'est pourquoi je suis très heureux que HAROPA PORT, qui a déjà initié des projets ambitieux, ait choisi ce thème pour ce premier numéro.

Carburants : la métamorphose



CERTES, LA SOBRIÉTÉ ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUES, DE MÊME QUE LA PRODUCTION MASSIVE D'ÉLECTRICITÉ VERTE, SONT DES LEVIERS ESSENTIELS POUR RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE. MAIS SI L'ON VEUT ATTEINDRE L'OBJECTIF DE ZÉRO ÉMISSION CARBONE À L'HORIZON 2050, IL FAUDRA ÉGALEMENT S'APPUYER SUR UNE AUTRE SOLUTION : LES NOUVEAUX CARBURANTS.



Thibault CANTAT

«C'est indispensable, car on ne peut pas électrifier tous les usages. Sans les carburants alternatifs à ceux fabriqués avec des combustibles fossiles, impossible par exemple de décarboner la production de plastiques ou le transport longue distance», explique Thibault Cantat, directeur de recherche au CEA. Mais qu'entend-on exactement par nouveaux carburants? «On peut distinguer deux grandes familles, poursuit Thibault Cantat. La première est celle des e-carburants - pour électro-carburants - tels que l'e-méthanol ou l'e-kérosène. Connus aussi sous le nom de carburants de synthèse, ils sont produits en combinant de l'hydrogène issu de l'électrolyse de l'eau

et du CO₂. L'autre famille est celle des biocarburants, obtenus à partir de matériaux organiques provenant de la biomasse. C'est dans cette famille qu'on trouve le HVO¹, un type de diesel à base

d'huiles résiduelles et de graisses, ou les biocarburants avancés issus de la valorisation des déchets agricoles et forestiers.»

UNE DYNAMIQUE FORTE DEPUIS 2022

Les nouveaux carburants font beaucoup parler d'eux depuis 2022. D'abord parce que cette année-là, ils ont pour la première fois été évoqués comme l'une des solutions à la crise climatique



Thibault CANTAT est docteur en chimie et professeur à l'École Polytechnique. Il dirige le programme de recherche sur l'économie circulaire du carbone lancé en 2019 par le Commissariat à l'Énergie atomique et aux Énergies alternatives (CEA), qui embarque une centaine de chercheurs.



Quel carburant écologique POUR LES NAVIRES?

dans le rapport du GIEC. Ensuite, parce que la réglementation européenne a évolué en 2023 avec l'adoption du paquet Ajustement à l'objectif 55². Cet ensemble de propositions vise à aligner la législation de l'UE sur l'objectif de réduction d'au moins 55 % des émissions d'ici à 2030 et de neutralité carbone en 2050. « Cela signifie que certains secteurs vont devoir diminuer fortement et rapidement la part des carburants d'origine fossile dans leur mix énergétique. Ceux du transport aérien et maritime, en particulier, sont en première ligne », commente Thibault Cantat.

DES MARCHÉS DÉDIÉS...

L'évolution de la réglementation européenne a un avantage : elle ouvre des marchés dédiés aux e- et bio- carburants. Et le besoin est massif à l'échelle mondiale. Y compris en France, où la production d'énergies renouvelables est déjà significative, mais où un tiers du mix énergétique d'origine fossile ne sera pas décarbonable par électrification directe. « Il faut maintenant réussir à produire ces carburants alternatifs en ayant le meilleur rendement énergétique possible et la plus faible empreinte carbone, avec a minima des émissions de gaz à effet de serre inférieures de 70 % à celle des carburants d'origine fossile. Et ce, en diminuant les coûts au maximum », résume Thibault Cantat. Le défi est de taille, quand on sait que le coût du litre d'e-kérosène oscillera entre deux et quatre euros... contre quarante centimes d'euros pour le kérosène !

... ET EN CONSTRUCTION

Pour l'heure, les technologies nécessaires à un déploiement massif des carburants alternatifs ne sont pas arrivées à maturité, mais certaines briques critiques sont presque prêtes à passer le cap de l'industrialisation. C'est le cas de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau et le captage du CO₂. « Quand toutes les briques seront prêtes, il restera une étape : leur intégration dans une nouvelle chaîne de valeur. Il y a donc encore du chemin à faire, l'enjeu étant maintenant d'accélérer », souligne Thibault Cantat. Dans ce contexte, les carburants de demain ont

Trois nouveaux carburants sont particulièrement prometteurs pour décarboner le secteur maritime : l'ammoniac, l'e-méthane et l'e-méthanol. Mais selon Thibault Cantat, ils ne pourront pas coexister dans la durée, au risque de multiplier les infrastructures. Comme le premier est très toxique et inflammable et que le deuxième est un gaz à effet de serre beaucoup plus puissant que le CO₂, l'e-méthanol pourrait bien tirer son épingle du jeu.

une grande force : ils sont en partie compatibles avec les infrastructures existantes, ce qui réduit drastiquement le montant des fonds à investir pour les développer et les utiliser. « La capacité d'investissement est un sujet beaucoup moins crucial que la capacité de production d'électricité bas carbone, qui va devenir une ressource-clé », confirme Thibault Cantat, avant d'ajouter : « Les travaux de recherche se poursuivent et ils ne s'arrêteront pas en 2050. Car une fois les carburants décarbonés, il faudra continuer à progresser sur les coûts, l'efficacité, l'acceptabilité sociale. Le sujet devrait ainsi occuper longtemps tous les acteurs de ces marchés, dont les ports, qui ont un rôle déterminant à jouer. »

1. Hydrotreated Vegetable Oil (huile végétale hydrotraitée)

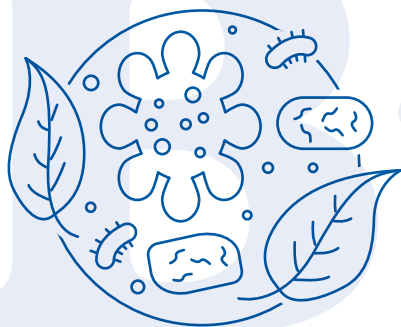
2. FIT for 55

NOUVEAUX CARBURANTS :



Les biocarburants

Produits à partir de matériaux organiques non fossiles : matière première d'origine végétale, huiles résiduelles type HVO (huile végétale hydrotraitée), graisse animale.

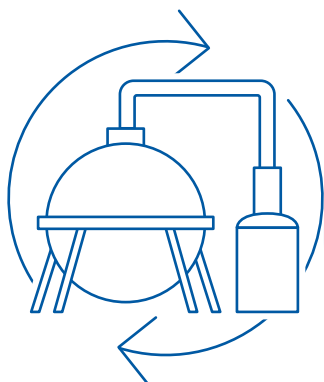


Les biocarburants avancés

Biocarburants de 2° ou 3° génération, produits notamment à partir de biomasse et de micro-organismes.

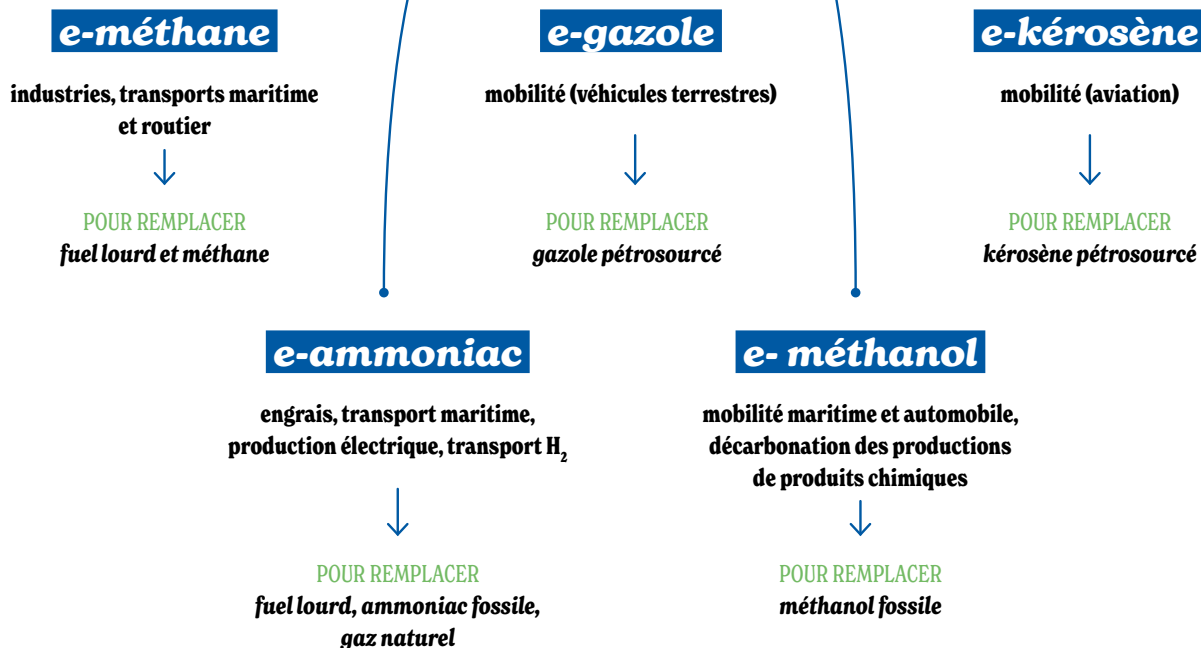
Approche particulièrement vertueuse qui vise à réduire la pression environnementale.

DE QUOI PARLE-T-ON ?



Les e-carburants

Ou carburants de synthèse, produits à partir **d'électricité** renouvelable ou bas carbone (non-fossile) et de **dioxyde de carbone** (sauf pour l'ammoniac). D'où la particule « e » pour électro + suffixe. Un dénominateur commun : **l'hydrogène (H₂)**.



Une nouvelle géopolitique de L'HYDROGÈNE



Mikaa BLUGEON-MERED

“Mikaa BLUGEON-MERED est enseignant (notamment à Sciences Po Paris), auteur, conférencier et analyste spécialiste des marchés, de la diplomatie et de la géopolitique de l'hydrogène.”

MIKAA BLUGEON-MERED NOUS DONNE SON AVIS D'EXPERT SUR UN MARCHÉ ÉMERGENT EN PASSE DE BOULEVERSER LE PAYSAGE ÉNERGÉTIQUE MONDIAL : CELUI DE L'HYDROGÈNE BAS CARBONE ET RENOUELABLE. ENTRETIEN.

Le marché de l'hydrogène n'est pas nouveau et il est très conséquent, avec 95 millions de tonnes produites et consommées chaque année dans le monde. Pourquoi parle-t-on aujourd'hui du nouveau marché de l'hydrogène ?

Le marché historique de l'hydrogène est celui de l'hydrogène produit à partir de ressources fossiles, principalement du gaz naturel. Il est donc très carboné, avec des émissions annuelles évaluées à 900 millions de tonnes en équivalent CO₂. Dans un contexte mondial marqué par l'intensification de la lutte contre le réchauffement climatique, il est donc logique de vouloir y substituer un hydrogène plus écologique produit soit en intégrant dans le processus des dispositifs de captage du CO₂, soit par électrolyse avec de l'eau et une source d'énergie renouvelable.

Quel est l'intérêt de l'hydrogène bas carbone et renouvelable pour la transition énergétique ?

Il est doublement intéressant. D'une part, l'hydrogène est la substance combustible qui a le pouvoir calorifique le plus élevé. Dans sa version écologique, il peut ainsi se substituer au gaz naturel pour la production de chaleur, servir de

carburant propre ou encore entrer dans la composition des e-carburants. D'autre part, l'hydrogène à l'état liquide est un vecteur énergétique qui permet de stocker et transporter l'électricité.

Quelle est la part de cet hydrogène écologique dans le marché mondial aujourd'hui ?

Elle est microscopique, avec une production annuelle d'environ 1 million de tonnes, soit 0,7 % du marché. Mais elle a vocation à croître très fortement si l'on en juge par les objectifs ambitieux affichés par de nombreux pays. Aujourd'hui, 59 dans le monde se sont dotés d'une stratégie de développement de l'hydrogène écologique, soit 82 % du PNB mondial. Même si pour l'instant, on observe une forme d'attentisme avec des trajectoires d'investissement très en deçà des besoins.

Quels sont les pays les plus intéressés par le développement de l'hydrogène bas carbone et renouvelable ?

Je distinguerai trois types de pays. Premièrement, ceux qui, comme le Qatar, ont besoin de ce vecteur énergétique pour décarboner leur production d'hydrocarbures. Deuxièmement, les pays producteurs d'hydrocarbures qui ont également un fort potentiel de production

d'énergies renouvelables, comme l'Arabie Saoudite ou la Norvège. Troisièmement, les pays qui n'étaient pas producteurs d'énergie jusque-là et qui ont les moyens de produire et d'exporter des énergies renouvelables, comme la Namibie, le Maroc, l'Espagne ou l'Irlande.

Comment se positionne la France sur ce marché ?

La France a été l'un des premiers pays à déployer un plan de développement de l'hydrogène écologique, avec le Plan Hulot en 2018. Depuis septembre 2020, elle est dotée d'une stratégie nationale parmi les plus volontaristes, puisqu'elle veut mettre en service

« 59 pays ont une stratégie de développement de l'hydrogène bas carbone ou renouvelable. »

6,5 GW de capacité de production d'hydrogène bas carbone à l'horizon 2030. Son positionnement est unique en Europe : c'est celui de la sécurité énergétique par la souveraineté. Elle entend développer sa propre production d'hydrogène pour décarboner son industrie lourde en toute autonomie. Par ailleurs, couplé au nucléaire, dont la production est quasi-constante, l'hydrogène est très intéressant. Grâce aux catalyseurs qui le transforment en électricité, c'est en effet un vecteur énergétique d'appoint — et le seul possible — pour garantir une fourniture d'électricité fiable et constante et faire face aux pics de consommation. Voilà pour la position française. Par comparaison, l'Allemagne, qui recherche aussi la sécurité énergétique, a choisi une tout autre voie, préférant importer de l'hydrogène écologique en multipliant les pays fournisseurs. Il y a également en Europe une ligne médiane entre la

ligne française et allemande, qui mise sur la mutualisation des potentiels européens. C'est celle de certains pays du Sud ou nordiques.

Qu'est-ce qui est le plus intéressant pour les ports français : que la ligne de la France l'emporte ou qu'une autre logique s'impose finalement à notre pays ?

Dans les deux cas, ils seront gagnants. Compte tenu des difficultés inhérentes au transport et au stockage d'hydrogène, un gaz peu dense, dont la manipulation est exigeante (comme celle de tous les carburants) et qui requiert des aciers adaptés, le développement de sa production et sa consommation en France devra se faire en circuits courts et à bas coûts. On verra alors se développer des écosystèmes industriels territoriaux autour de l'hydrogène et de ses dérivés dont les ports seront des acteurs clés. Et si la France renonce à l'autosuffisance, ils auront un rôle non moins essentiel d'interface à jouer pour faciliter les importations de gros volumes d'hydrogène à des coûts tirés au maximum et favoriser ainsi l'apparition de chaînes de valeur massifiées.

Un gisement qui change tout EN LORRAINE ?

Mikaa Blugeon-Mered nous a donné son avis sur le gisement d'hydrogène géologique découvert récemment en Lorraine : « On parle d'une capacité de production qui permettrait à la France d'être autosuffisante en hydrogène pour les 45 prochaines années ! Si cela se confirme, la France pourrait décarboner son industrie et exporter, ce qui changerait totalement son positionnement économique et géopolitique sur ce marché. Une sorte de Graal de la transition énergétique. Mais il faut rester prudent : on ne connaît pas avec précision les caractéristiques du gaz découvert, notamment sa pureté et sa capacité à se renouveler. Je doute par ailleurs qu'on puisse exploiter ce gisement à bas coût avant des décennies. D'autant qu'il faudra forer en profondeur, ce qui pose des questions d'acceptabilité sociale. »

PRO- DUIRE



Le port : creuset de nouvelles énergies



PORTES D'ENTRÉE OU SITES DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, LES PORTS ONT UN RÔLE PRIMORDIAL À JOUER DANS LA DÉCARBONATION. ILS DOIVENT ANTICIPER LES GRANDES MUTATIONS, NOTAMMENT LE DÉVELOPPEMENT DES NOUVEAUX CARBURANTS, POUR CONCEVOIR AVEC LES ACTEURS INDUSTRIELS ET TERRITORIAUX UN NOUVEL ÉCOSYSTÈME PORTUAIRE.



Kris DANARADJOU

« Le réseau de transport de l'énergie a été organisé à partir des ports, le réseau de décarbonation de l'énergie s'organisera également à partir des ports. » Pour Kris Danaradjou, l'avenir énergétique s'écrit dans

les zones industrialo-portuaires (ZIP) Après l'ère « énergies fossiles » engagée dans les années 50 avec l'arrivée des pétroliers, l'installation de raffineries et de centrales thermiques, d'infrastructures de distribution et de filières industrielles d'exploitation du pétrole brut, le port engage sa mutation énergétique. « Sur les ZIP, nous disposons de tous les réseaux — électricité, oléoducs, gazoducs — et des infrastructures de transport maritime et fluvial. C'est donc ici que l'écosystème doit se transformer »,

explique Kris Danaradjou. Plus simplement, la France étant soumise à une feuille de route ambitieuse en termes de décarbonation (cf encadré page suivante), les industriels des ZIP, principaux émetteurs de

CO₂, sont engagés dans cette démarche pour transformer leurs process industriels.

LES PORTS ENGAGÉS DANS LA DÉCARBONATION

Pour y parvenir, les acteurs de ces zones industrialo-portuaires travaillent sur trois leviers : l'amélioration de l'efficacité énergétique des industriels, la mise en place de solutions de captage du CO₂ (cf encadré page suivante) et le développement de car-



Kris DANARADJOU est directeur général adjoint de HAROPA PORT depuis 2021. Il est notamment en charge du pilotage des projets de développement et de l'interface avec les collectivités territoriales.



burants décarbonés. Un vaste chantier! S'agissant du déploiement des nouveaux carburants, les structures portuaires comme HAROPA PORT ont un rôle central à jouer. En tant qu'aménageurs des ZIP, les ports doivent comprendre les besoins de demain, les anticiper et compléter l'écosystème portuaire en attirant les industries indispensables au développement de ces carburants d'avenir. Ils facilitent également les synergies entre les différents acteurs pour qu'ils étudient et mettent en place des solutions communes. Enfin, il s'agit de faire évoluer les infrastructures portuaires pour répondre aux futurs besoins, notamment en matière de stockage des nouveaux carburants et de soutage des navires.

COMPLÉTER L'ÉCOSYSTÈME PORTUAIRE

Première mission : cibler les industries nécessaires au développement et à la valorisation de nouvelles matières premières en mettant à leur disposition des emplacements stratégiques.

Ainsi, à Gennevilliers, HAROPA PORT a accueilli une unité de méthanisation exploitée par Paprec entre le centre de collecte des déchets locaux et le port fluvial. Opérationnel en 2025, ce méthaniseur permettra de valoriser jusqu'à 50 000 tonnes de déchets en produisant 30 000 MWh de biométhane et 43 000 tonnes de digestat. Le biométhane alimentera les bus locaux et le digestat, transporté dans des sites de stockage par le fleuve, sera utilisé comme engrais pour l'agriculture.

« Demain, le port doit devenir un vrai hub d'énergies décarbonées. »

Kris DANARADJOU

Décarbonation des ports : LA FEUILLE DE ROUTE LÉGISLATIVE

Les zones industrialo-portuaires sont tenues de limiter leurs émissions de CO₂ pour se conformer aux objectifs nationaux et européens de décarbonation :

- objectif de transports 100 % décarbonés à l'horizon 2050 dans le cadre des Accords de Paris et de la Stratégie nationale bas carbone.
- réduction d'au moins 55 % des émissions de gaz à effet de serre en 2030, avec obligation de décarbonation pour les ports, dans le cadre du paquet européen « Fit for 55 ».
- baisse des émissions de gaz à effet de serre des navires : de 2 % d'ici à 2025 à 80 % d'ici à 2050, prévue dans le règlement FuelEU Maritime, adopté par le Parlement européen en octobre 2022.

De la même façon, à Grand-Couronne, Saipol, spécialisée dans la transformation des graines oléagineuses en biocarburant, valorise les déchets des céréalières transitant par le port de Rouen.

Pour supporter la production de carburants décarbonés, le port doit également accompagner le développement de l'électricité verte. « En libérant et aménageant 36 hectares au Havre pour l'arrivée de la plus grande usine de fabrication de pales et nacelles d'éoliennes de Siemens Gamesa, nous soutenons

directement les projets régionaux d'éolien offshore, et la production d'une électricité verte susceptible de servir à la fabrication de nouveaux carburants», explique Kris Danaradjou, qui ajoute : «demain le port devra devenir un vrai hub d'énergies décarbonées.»

FACILITER LES SYNERGIES

Deuxième mission des ports : leur statut central au cœur de l'écosystème des ZIP leur permet d'orchestrer des synergies entre les industriels, les collectivités et l'État, pour des projets favorisant la production de nouveaux carburants.

Ainsi, dans le cadre de l'appel à projets Grand Canal lancé par HAROPA PORT, ENGIE s'associe à l'armateur CMA CGM et au groupe Air France KLM pour créer au Havre la première plateforme de carburants renouvelables et bas carbone à échelle industrielle. Ce double projet - Salamandre et KerEAUzen - consiste à produire du biométhane de 2^e génération pour le transport maritime et du e-kérosène pour le transport aérien (lire p 19).

Plus largement, la constitution de l'association Socrate engage HAROPA PORT et trois associations d'industriels autour d'un vaste projet d'études sur la décarbonation (lire p 32).

FAIRE ÉVOLUER LES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES

Enfin, pour accompagner le développement des nouveaux carburants, les ports doivent repenser leurs infrastructures. «Il s'agit de mettre en place des zones de stockage et des process de soutage conformes à la réglementation, notamment pour l'hydrogène et l'ammoniac qui nécessitent des conditions de sécurité très spécifiques», explique Kris Danaradjou. Il ajoute : «Dès 2014, nous avons intégré les risques liés à l'avitaillement en GNL dans la réglementation locale

des ports et formé nos personnels pour garantir la sécurité des soutages. Nous avons donc une vraie expertise.» Un sujet majeur pour les ports. «Demain, les services de soutage de nouveaux carburants feront pencher la balance dans la prise de décision des armateurs pour définir leurs rotations. C'est également le cas des industriels souhaitant investir dans le captage du carbone, sensibles aux possibilités offertes par les ports dans ce domaine : la décarbonation représente un vrai défi, mais aussi une opportunité pour rester compétitifs face aux grands ports mondiaux.»

Le captage du carbone SUR L'AXE SEINE

Lauréat de l'appel à projets « Zones industrielles bas carbone » (ZIBac), l'axe Seine bénéficie d'un important soutien de l'État pour financer des études en matière de captation carbone. Ce soutien conforte le travail engagé en 2021 par le consortium d'industriels constitué de Total, Exxon Mobil, Yara, Boréal et Air Liquide autour du captage de CO₂ sur l'axe Seine en Normandie. Logistique de captage de carbone, de liquéfaction et de transport vers des sites d'enfouissement : les industriels, les collectivités locales et HAROPA PORT s'engagent pour la création du premier hub de liquéfaction du CO₂ de France. L'objectif d'ici 2030 ? Réduire les émissions carbone de 3 millions de tonnes par an.

L'axe Seine, vallée de l'hydrogène bas carbone



C'EST UN NOUVEAU PROJET D'ENVERGURE POUR LA DÉCARBONATION DE L'AXE SEINE : VERSO ENERGY, ENTREPRISE SPÉCIALISÉE DANS LES ÉNERGIES RENOUVELABLES, INVESTIT 500 MILLIONS D'EUROS POUR IMPLANTER, SUR LE PORT DE ROUEN, UN CENTRE DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE BAS CARBONE ET DE CARBURANTS DE SYNTHÈSE. LE SITE, QUI S'ÉTENDRA SUR PRÈS DE 9 HECTARES, DEVRAIT ÊTRE OPÉRATIONNEL EN 2029.

Cette future installation permettra de produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau ; elle pourra atteindre une capacité de 350 MW, soit un volume de plus de 50 000 tonnes d'hydrogène par an. Le site produira également des carburants de synthèse à partir de CO₂ capté et valorisé. Une opportunité pour la région puisqu'au total, 400 emplois seront ainsi créés dont 150 emplois directs.

DE NOUVELLES SYNERGIES ENTRE INDUSTRIELS

Cette unité de production, qui sera située à Grand-Quevilly, est stratégique pour HAROPA PORT et l'ensemble de la place portuaire. Elle s'inscrit pleinement dans la dynamique de la décarbonation des activités industrielles et fera naître des synergies entre les entreprises, qui auront recours à l'hydrogène pour divers usages : la manutention, les transports maritime et fluvial, les mobilités routière et ferroviaire. « Rouen est un territoire particulièrement propice pour implanter un tel projet, avec sa zone



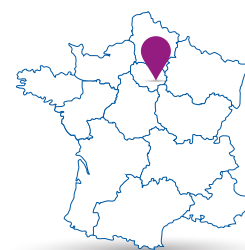
Hervé Morin,
président de la Région Normandie.

« La Normandie fait figure de précurseur »

« En France, la Région Normandie fait figure de précurseur dans le développement des nouveaux usages de l'hydrogène. Région industrielle de premier plan avec des secteurs majeurs tels que la logistique et le portuaire, ainsi qu'un mix énergétique parmi les plus diversifiés de France, la Normandie dispose d'atouts exceptionnels pour le développement de cette énergie d'avenir. Ce projet VERSO ENERGY contribue pleinement à l'ambition de la Région en matière de développement industriel de la Normandie et vient compléter une longue série d'investissements industriels le long de l'axe Seine, écrin du premier complexe portuaire national »

industrialo-portuaire au cœur de l'axe Seine et son raccordement au réseau Trapil pour acheminer le carburant vers les consommateurs finaux, confie Antoine Huard, directeur général de VERSO ENERGY. Nous sommes heureux de travailler avec HAROPA PORT pour mener à bien ce projet ambitieux, résolument engagé dans la réindustrialisation du pays et la décarbonation de notre économie ». Du côté du port, on se félicite du choix de l'axe Seine : « Nous sommes fiers d'accueillir la future unité de production d'hydrogène bas carbone, portée par VERSO ENERGY, sur la zone portuaire rouennaise », affirme Stéphane Raison, directeur général de HAROPA PORT.

La convention, signée le 22 novembre 2023 entre VERSO ENERGY et HAROPA PORT, prévoit le commencement des travaux en 2026, après obtention des autorisations administratives nécessaires ; la mise en service est prévue pour 2029. « Ce projet d'envergure confirme que l'axe Seine est la vallée des nouveaux carburants et des nouvelles mobilités », ajoute Stéphane Raison.

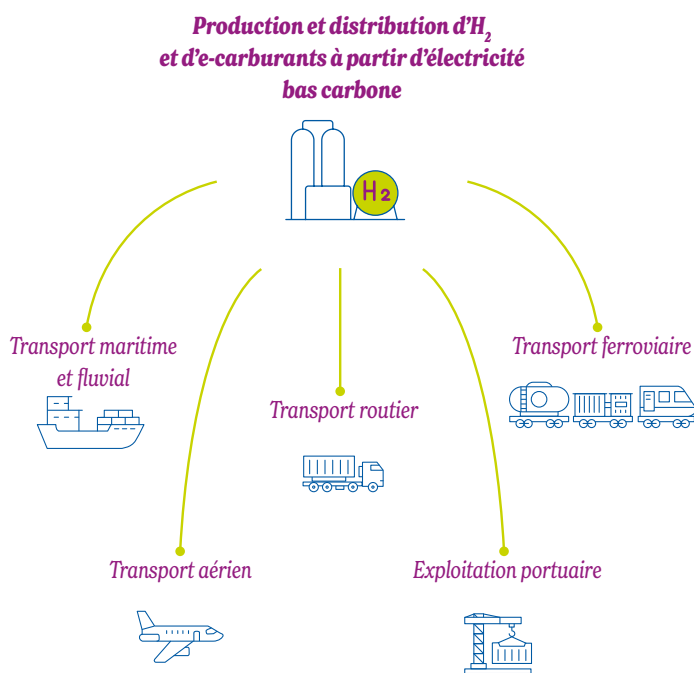


Grandpuits : du pétrole... au biocarburant

En pleine transition vers une plateforme « zéro pétrole », le site TotalEnergies de Grandpuits (Seine-et-Marne) s'équipe d'une usine de production de biocarburants destinés au transport aérien.

Construite depuis fin août 2023, cette bioraffinerie transformera, dès 2024, des huiles de cuisson usagées et des graisses animales en SAF, Sustainable aviation fuel. Grâce à un partenariat avec la société allemande Saria, spécialisée dans la production de SAF, l'usine sera en mesure de produire 210 000 tonnes de carburants aériens durables dès 2025. Les graisses animales seront importées de pays européens et les huiles de cuisson usagées seront complétées par des huiles végétales de type colza. Mélangé au kérosène, le biocarburant produit devrait permettre de réduire les émissions carbone de 50 % par rapport à son équivalent 100 % fossile : « la solution la plus efficace pour réduire immédiatement les émissions de CO₂ du transport aérien », selon Bernard Pinatel, directeur général de la branche Raffinage-Chimie de TotalEnergies. Ce biocarburant sera stocké dans le dépôt pétrolier de Gargenville (Yvelines) et alimentera notamment les aéroports de Paris.

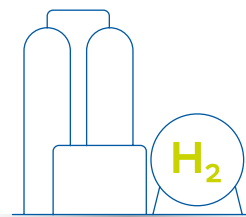
Les ports, écosystèmes H₂ à fort potentiel



« Verdir » l'hydrogène normand

Air Liquide franchit une nouvelle étape dans le développement de l'hydrogène en construisant un électrolyseur de grande capacité sur le site de Port- Jérôme-sur-Seine, près du Havre. Ce projet, nommé Air Liquide Normand'Hy, permettra de fournir dès 2026 de l'hydrogène renouvelable et bas carbone à la raffinerie TotalEnergies de Gonfreville, à des industriels de la zone ainsi qu'au secteur de la mobilité bas carbone en développement.

Voilà un équipement qui ne devrait pas passer inaperçu ! En 2026, l'axe Seine accueillera l'un des plus grands électrolyseurs à membrane par échange de protons (PEM) au monde, d'une capacité de 200 MW. Sa construction, représentant un investissement de plus de 400 millions d'euros, résulte notamment de la signature d'un accord entre Air Liquide et TotalEnergies au cours de l'été 2023 et d'autres accords en cours de négociation. En effet, Air Liquide livrera la moitié de sa production en hydrogène renouvelable et bas carbone à



la raffinerie TotalEnergies de Gonfreville. Le groupe pétrolier s'engage de son côté à fournir à Air Liquide de l'électricité renouvelable, issue du solaire et de l'éolien, à hauteur de 100 MW, volume correspondant à la part d'hydrogène livré à sa raffinerie. Pour le reste, Air Liquide entend s'appuyer sur d'autres fournisseurs d'énergies renouvelables, complétés par de l'énergie bas carbone du réseau électrique français.

Stéphane VIALET,

directeur de projets de Transition énergétique,

Air Liquide - Europe du Sud-Ouest

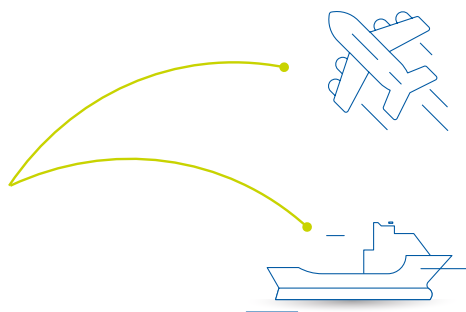
« Agir collectivement »

« Le protocole d'accord signé cet été avec TotalEnergies illustre notre capacité à proposer des solutions concrètes de décarbonation à nos clients tout en s'inscrivant dans la trajectoire de décarbonation de nos propres actifs. Agir collectivement au sein d'un même bassin géographique représente un atout majeur dans le défi de la neutralité carbone, que nous sommes nombreux en tant qu'industriels à relever aujourd'hui. »

28 000 tonnes d'hydrogène vert

Plus largement, le projet Air Liquide Normand'Hy contribuera à décarboner la zone industrialo-portuaire de Port-Jérôme-sur-Seine. En effet, l'autre moitié de sa production en hydrogène alimentera l'industrie et le secteur de la mobilité. En fournissant environ 28 000 tonnes par an d'hydrogène renouvelable et bas carbone pour remplacer l'hydrogène « gris » produit à partir d'hydrocarbures, cet équipement permettra d'éviter jusqu'à 250 000 tonnes d'émissions de CO₂ par an. Soutenu par l'État à hauteur de 190 millions d'euros, le projet complètera le réseau hydrogène local d'Air Liquide.

Engie investit pour alimenter le maritime et l'aérien



Lauréat de l'appel à projets « Grand Canal » lancé par HAROPA PORT, ENGIE utilisera un terrain de 24 ha au Havre pour développer une plateforme de production de carburants bas carbone. Deux projets verront le jour : Salamandre, pour alimenter le transport maritime, et France KerEAUzen, pour le transport aérien.

« Salamandre » et « France KerEAUzen » : les deux projets d'ENGIE n'ont pas fini de faire parler d'eux ! Et pour cause : sur un terrain de 24 ha le long du Grand Canal du Havre, anciennement occupé par Lafarge, c'est toute une filière industrielle autour des nouveaux carburants qui sera créée. Premier projet, Salamandre associe ENGIE et l'armateur CMA CGM pour la création d'une unité de production de gaz renouvelable destiné au transport maritime. Il vise à produire, à partir de biomasse sèche issue des filières locales de bois-déchet et de combustibles solides de récupération (CSR), 11 000 tonnes de gaz renouvelable et bas carbone par an. Utilisé sous forme de Gaz naturel liquéfié (GNL), ce carburant vert alimentera les porte-conteneurs de CMA CGM. Le projet Salamandre devrait aboutir fin 2024 avec la construction de l'usine, pour une mise en service en 2027. Son enjeu ? Éviter chaque année l'émission de 60 000 tonnes de CO₂ en remplaçant l'utilisation de gaz naturel d'origine fossile par un carburant vert.

70 000 tonnes d'e-kérosène par an

Partenariat entre ENGIE et le groupe Air France-KLM, le projet France KerEAUzen vise à développer une unité de production

d'e-kérosène dès 2030. Ce carburant sera obtenu à partir de CO₂ — fourni par la plateforme de Salamandre et d'autres sites industriels — et d'hydrogène vert produit par un électrolyseur d'environ 250 MW. L'objectif annoncé : 70 000 tonnes d'e-kérosène par an. Le site devrait ainsi recycler 270 000 tonnes de CO₂ d'origine industrielle. Outre du SAF (Sustainable aviation fuel) acheminé dans les pipelines vers les aéroports de Roissy-Charles de Gaulle et Orly, l'unité de production devrait également fournir de l'hydrogène renouvelable aux industriels de la zone industrialoportuaire. Utilisation du CO₂ capté, fourniture d'hydrogène décarboné : France KerEAUzen apportera des solutions pour soutenir la décarbonation des industriels du port du Havre.

200 000

TONNES DE GAZ RENOUVELABLES D'ICI 2028 :

c'est l'objectif annuel de production mondiale d'ENGIE et du groupe CMA CGM dans le cadre du partenariat signé fin 2021.

UTI- LISER





Antonis MICHAIL

“Antonis MICHAIL est directeur technique de l'Association internationale des ports (IAPH) et de son Programme mondial de durabilité des ports (WPSP); il coordonne les travaux sur le climat, l'énergie et la collaboration en matière de données. »

Décarbonation du transport maritime et fluvial,

QUELLES SOLUTIONS ?

LE TRANSPORT MARITIME REPRÉSENTE ENTRE 3 ET 4 % DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LE MONDE. LE TRANSPORT FLUVIAL, MÊME S'IL SE SUBSTITUE DE MANIÈRE VERTUEUSE AU TRANSPORT ROUTIER, A TOUT DE MÊME UNE EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE. COMMENT LES DÉCARBONER ? LE POINT AVEC ANTONIS MICHAIL.

Pourquoi est-il important de décarboner le transport maritime et fluvial ?

Aujourd'hui, le changement climatique n'est plus contesté, et les émissions du transport maritime ont leur part de responsabilité. Pour la planète et pour nous-mêmes, nous devons décarboner, mais chaque secteur doit jouer son rôle. D'après la stratégie de l'Organisation maritime internationale (OMI), nous devons décarboner totalement d'ici 2050 au plus tard afin de maintenir le réchauffement climatique à 1,5 °C maximum d'ici la fin du siècle. C'est d'autant plus crucial que toutes les prévisions annoncent une augmentation rapide du trafic maritime dans les années à venir. Il est urgent d'agir, car tout prend du temps à se mettre en

place et nous ne sommes qu'au début du processus.

Hors carburant, quelles mesures peuvent être utiles ?

Au-delà de la réduction de vitesse de navigation ou du travail des ingénieurs pour adapter la forme des navires, des actions incitatives sont menées, comme la mise en place de l'index environnemental des navires (ESI, Environmental Ship Index). Il mesure l'empreinte des navires marchands afin que les ports puissent récompenser ceux qui s'améliorent. Par ailleurs, dans le cadre de la COP26, 24 pays se sont engagés à accélérer le développement de couloirs maritimes verts. Encore en phase d'essai, ces voies relient des ports au moyen de cargos

« Les navires fluviaux seront probablement plus rapides à décarboner, avec des solutions plus simples à appliquer d'un point de vue technique, et des réglementations locales. »

utilisant une source d'énergie zéro émission et pouvant être développée à grande échelle, accompagnée d'une infrastructure terrestre appropriée.

L'IAPH soutient ce concept. C'est un bon moyen de rassembler les parties prenantes le long d'un itinéraire donné, et de tester de nouvelles approches. À un stade ultérieur, il faudra un cadre définissant les couloirs verts « réussis » pour garantir les progrès et la transférabilité à l'échelle mondiale.

Pour accélérer la décarbonation du transport maritime, une collaboration est nécessaire sur l'ensemble de la chaîne de valeur, entre les ports, les compagnies maritimes, les producteurs d'énergie, les chargeurs et les régulateurs.

Qu'en est-il du transport vélique ?

La propulsion éolienne est bien sûr la bienvenue. Après tout, la voile est un moyen éprouvé depuis des siècles pour transporter des marchandises sans produire d'émissions. Certains acteurs du secteur se tournent vers de telles solutions, avec de nouvelles technologies très efficaces.

Les nouveaux carburants sont-ils prêts pour ce secteur ? À quelles conditions pourra-t-on les déployer ?

À l'IAPH, nous souhaitons offrir aux armateurs un large spectre de

L'axe Seine se met AU DIAPASON

Le groupe Sogestran annonce que son automoteur à propulsion hydrogène, ZULU06, sera prêt à naviguer au printemps 2024. Il existe 5 autres ZULU en navigation, sur la Seine, le Rhône et en Belgique entre Bruxelles et Anvers. Équipés d'une grue qui leur permet d'être « auto-déchargeants », ils n'ont besoin d'aucune infrastructure à quai pour fonctionner, ce qui assure la fluidité des opérations.

Une autre initiative vient de la SOGEPP (Société de gestion de produits pétroliers), qui investit dans le transport fluvial de biocarburants. Situé dans le port de Gennevilliers, le site qui dessert les stations-service d'Île-de-France et des régions limitrophes prévoit 20 000 tonnes de trafic pour les prochaines années.

carburants alternatifs. Pour cela, nous coopérons avec les organisations de normalisation, les associations industrielles, les sociétés de classification, les groupes pétroliers, les terminaux et les souteneurs. L'hydrogène et ses dérivés joueront un rôle important, mais il y a des problématiques à traiter : volume, toxicité, autonomie... Il est probablement plus adapté au transport fluvial que maritime. Le méthanol apparaît comme un carburant alternatif potentiel pour le maritime. Lorsqu'il est produit à partir d'hydrogène durable et de CO₂ biogénique ou obtenu par captage direct de l'air, il s'agit d'un carburant neutre en carbone. L'ammoniac est également une solution possible : début 2024, les premiers moteurs

Les armateurs EN PREMIÈRE LIGNE

CMA CGM, acteur mondial des solutions maritimes, terrestres, aériennes et logistiques, mise sur l'intégration de nouvelles énergies décarbonées (biogaz, biométhane et e-fuels) pour réaliser son engagement d'être net zéro carbone d'ici 2059 sur l'ensemble des activités du Groupe. Christine Cabau-Woehrel, vice-présidente exécutive en charge des actifs et des opérations, précise : « *d'ici fin 2027, nous aurons 95 navires capables d'utiliser du biométhane et du e-méthane et 24 navires pouvant utiliser du biométhane et du e-méthane en flotte* ». En parallèle, la R&D s'intéresse aux solutions énergétiques de demain. « *Dans cette catégorie, j'intègre l'ammoniac, la captation de carbone à bord des navires ou encore l'hydrogène. Je suis convaincue que la décarbonation du transport maritime ne viendra que d'une pluralité de solutions énergétiques* » précise-t-elle. Par ailleurs, la signature d'un partenariat entre CMA CGM et Maersk positionne les deux leaders du secteur en pionniers de la transition énergétique du transport maritime, convaincus des avantages d'une action commune pour accélérer le mouvement. Toutefois, « *les énergies ne sont qu'une partie de la solution* » complète Christine Cabau-Woehrel. « *Des mesures, dites de sobriété, d'ergonomie de nos navires et de solutions de routing assisté par l'IA, qui relèvent de l'efficacité opérationnelle, sont des sources importantes d'économie de consommation et donc de réduction d'émissions carbone.* »

seront prêts à être installés sur les nouveaux navires. Le carburant du futur sera zéro émission de la fabrication jusqu'à l'utilisation, mais je doute qu'il n'y ait qu'un seul carburant, ce sera un mix. Pour profiter des carburants verts, il faut repenser les infrastructures. La résolution portuaire de l'OMI incite notamment à optimiser les escales au port avec des services d'alimentation électrique à terre, et de soutage en toute sécurité de ces combustibles. Par ailleurs, elle encourage la coopération de tous pour traiter la question de l'approvisionnement, tant au niveau juridique, réglementaire, que des infrastructures. Enfin, nous devons établir des normes mondiales relatives aux données numériques pour favoriser un échange fiable entre les navires et la terre. Des données issues de capteurs nous aident à optimiser en temps réel la consommation de carburant et à mieux gérer les plannings. Nous devons faire le maximum pour aider les ports à accueillir les navires naviguant avec ces combustibles.

Où en est-on vraiment en termes d'utilisation ?

Les grands chargeurs s'intéressent de plus près à leurs chaînes d'approvisionnement et de transport pour réduire leurs émissions. Certains ont des exigences concrètes - et même des objectifs d'amélioration au fil du temps - qu'ils imposent à leurs transporteurs. Les fabricants de carburants se préparent aussi, mais le problème est de passer à l'échelle supérieure et de s'assurer que les carburants sont réellement exempts

de carbone du point de vue de l'analyse du cycle de vie, comme le méthanol vert. Les projets pilotes se multiplient : il existe des expérimentations autour de l'hydrogène à Rotterdam aux Pays-Bas, à Anvers en Belgique, à Falkland en Nouvelle-Zélande, ainsi qu'à Amsterdam avec Neo Orbis, où le premier navire à hydrogène solide au monde, devrait être mis en service en 2024. Voyons lequel deviendra la nouvelle norme. Les navires fluviaux seront probablement plus rapides à décarboner, avec des solutions plus simples à appliquer d'un point de vue technique, et des réglementations locales. En revanche, les questions de sécurité sont spécifiques lorsqu'il s'agit d'accéder à des centres-villes par exemple. Afin de donner une chance aux produits à faible émission, il faut fixer un prix au carbone pour réorienter les investisseurs. Aujourd'hui, nous avons stabilisé l'augmentation de la croissance du carbone, mais nous devons la réduire jusqu'à décarboner, d'autant plus que la circulation augmente. Tous les acteurs sont à peu près alignés sur le principe, mais le défi, c'est la vitesse à laquelle nous y parviendrons.

Des « e-molécules » pour décarboner l'industrie



L'UTILISATION DE E-MOLÉCULES PAR LES INDUSTRIELS RÉPOND À UN DOUBLE ENJEU. ELLES PEUVENT ÊTRE UTILISÉES COMME INTRANTS MATIÈRES, POUR DÉCARBONER LEURS PROCESS ET/OU LEURS PRODUITS, ET COMME INTRANTS ÉNERGÉTIQUES. MAIS UNE INCONNUE DEMEURE : LA QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ « VERTE » OU BAS-CARBONE, NÉCESSAIRE À LEUR ÉLABORATION, DISPONIBLE DANS LES ANNÉES À VENIR.

Face à une réglementation française et européenne fixant un cap de décarbonation des productions, les industriels étudient de près l'utilisation de molécules décarbonées pour des procédés qui ne peuvent pas être directement électrifiés, et qui vont donc être électrifiés indirectement.

« Yara prévoit de décarboner 30 % de sa production d'ammoniac d'ici 2030. »

Nicolas BROUTIN

La première d'entre elles est l'hydrogène électrolytique bas carbone, l'« e-H₂ », d'abord utilisée en remplacement de l'hydrogène d'origine fossile, notamment pour des usages industriels et pour la mobilité (cf. *Air Liquide Normand'Hy* p. 18). Les industriels visent également de nouveaux usages de l'hydrogène pour l'électrification indirecte de leurs

procédés. Un exemple emblématique : la production d'acier « vert » avec le remplacement du haut-fourneau (utilisation de charbon) par la réduction directe du minerai de fer avec de l'« e-H₂ ». Autres exemples : le remplacement du gaz naturel dans les industries utilisant des procédés haute température : chimie, verre, ciment, etc.

Deux autres e-molécules intéressent également les industriels : l'e-méthanol et l'e-ammoniac. « *Le e-méthanol est mature, car nous maîtrisons la méthanolation, réalisée à partir d'hydrogène et de CO₂. Il remplace le méthanol d'origine fossile comme intrant matière pour la fabrication de solvants, vernis, peintures ou pour être transformé en éthylène et propylène, utilisés dans la fabrication de matières plastiques* », explique Aymeric Vincent, responsable environnement industriel chez HAROPA PORT. Il ajoute : « *de son côté, l'e-ammoniac peut également servir d'intrant énergétique et d'intrant matière, notamment pour la fabrication d'engrais.* »

Du côté de Yara France, l'ammoniac est à la base de la production des engrais azotés, notamment l'ammonitrate et l'urée. L'utilisation d'e-ammoniac est un levier important de la décarbonation de la nutrition des plantes et donc des productions agricoles. L'e-ammoniac est susceptible d'être aussi utilisé comme vecteur énergétique pour le stockage et le transport. Il pourra ainsi être employé directement pour les applications de fuel maritime et de production électrique ou être craqué pour la production et la distribution locale d'hydrogène. « La production d'ammoniac décarboné permettra de réduire considérablement l'empreinte carbone des engrais

Christophe LE SAUSSE,

responsable projets procédés chez Chevron Oronite

« Les besoins locaux en matières premières sont nombreux »

« Pour minimiser le stockage du CO₂, son usage comme matière première est à envisager. L'une des premières briques de la chimie industrielle est le méthanol synthétisable à partir de CO₂ et d'hydrogène. L'intérêt pour les industries chimiques est d'évaluer si la chimie du CO₂ permettrait de synthétiser localement des molécules plus complexes et ainsi redessiner les filiations de la chimie industrielle. En effet, les besoins locaux en matières premières sont nombreux et diversifiés. Le fait d'obtenir des molécules plus complexes est non seulement un enjeu technologique majeur mais il permettra également de répondre aux différents besoins des industriels de l'axe Seine. Par ailleurs, il ne faut pas oublier que l'utilisation du CO₂ est possible en chimie minérale pour les besoins notamment des cimentiers, ou en biochimie. »

« Le développement de ces filières dépend de trois paramètres : les gisements, les besoins et les infrastructures. »

Aymeric VINCENT

minéraux azotés, de 80 à 90 %, explique Nicolas Broutin, président de Yara France. Ainsi, concrètement, un agriculteur qui utilisera cet engrais pourra réduire l'empreinte carbone de sa récolte de 10 à 30 % sans réduire son rendement. Le groupe Yara prévoit, au niveau mondial, de décarboner 30 % de sa production d'ammoniac d'ici 2030, et d'atteindre la neutralité climatique en 2050 ».

UNE FILIÈRE DÉPENDANTE DE LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE

Encore faut-il pouvoir assurer une production à grande échelle de ces molécules... À l'étude, la création de filières s'appuie sur des scénarios à plusieurs inconnues. « Le développement de ces filières dépend de trois paramètres : les gisements, les besoins et les infrastructures. », explique Aymeric Vincent : « Les infrastructures sont disponibles sur les zones industrialo-portuaires : des canalisations pour transporter l'eau, l'hydrogène, le CO₂ et l'électricité. Les besoins font l'objet de scénarios, par exemple sur l'augmentation ou la diminution du besoin en matières plastiques, solvants, lubrifiants, qui impacte la demande en e-molécules. Pour les gisements, nous sommes dépendants des politiques publiques de développement des énergies renouvelables et du nucléaire : la production d'hydrogène bas carbone, à l'origine de ces molécules, requiert énormément d'électricité. »

L'importation d'hydrogène ou de ses dérivés est également envisageable (cf. article Mikaa Blugeon-Mered p.10).

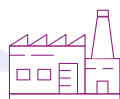
DES SYNERGIES AUTOUR DE PROJETS AMBITIEUX

Pour concevoir ces scénarios, les industriels rejoignent de grands projets et travaillent en synergie avec les acteurs de l'énergie notamment. L'objectif? Penser de véritables écosystèmes autour de la production et de la consommation de ces produits. C'est le cas de l'association SOCRATE sur l'axe Seine (cf p.32). D'autres

projets, menés par des producteurs d'énergie, prévoient la mise à disposition d'énergies décarbonées à moyen terme : citons notamment le projet Air Liquide Normand'Hy, sur l'hydrogène vert au Havre (cf p.18). « L'État soutient massivement ces initiatives, car, outre les enjeux environnementaux, ces questions impactent notre souveraineté énergétique et industrielle. », conclut Aymeric Vincent.

CAPTAGE DE CO₂ : Itinéraire d'une molécule

1 Captage



Dans les usines

La molécule de CO₂ est captée dans les fumées des usines ou lors de la combustion par différentes technologies.



Par aspiration dans l'air

De grands ventilateurs dotés d'un filtre ou de produits chimiques aspirent l'air ambiant.

2 Transport



Liquéfiée pour prendre moins de place, la molécule est transportée vers un site de stockage ou de valorisation situé à proximité.

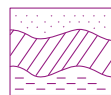
3 Valorisation



La molécule est considérée comme une ressource. Transformée en carburants, matières plastiques, engrais, médicaments, elle peut continuer sa vie sur terre plutôt que dans les airs.

ou

Stockage



Retour à la case départ pour la molécule fossile, isolée durablement de l'atmosphère. Elle est injectée et stockée de façon pérenne dans le sous-sol.

+ d'infos



Source : IFP Énergies nouvelles

La décarbonation vue du ciel



**COMME LE SECTEUR MARITIME, L'AÉRIEN S'EST RÉSOLUMENT ENGAGÉ
DANS LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE. ET LÀ ENCORE, LA DÉCARBONATION
PASSE PAR LES NOUVEAUX CARBURANTS.**



Matthieu PIRON

Aujourd'hui, seulement 3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre sont liées au secteur aérien. Mais le trafic devrait augmenter dans les prochaines décennies, ce qui fera grimper ce taux. « *Compte-tenu de l'urgence climatique et pour pérenniser notre industrie, il est indispensable de décarboner* », souligne Matthieu Piron, à la Direction Développement durable et Affaires publiques du Groupe Aéroports de Paris.

UNE DÉMARCHÉ AMBITIEUSE

Le secteur s'est donc engagé dans une démarche de réduction de son empreinte carbone particulièrement volontariste. Elle mobilise toutes ses

parties prenantes, à l'échelle aussi bien nationale qu'internationale (cf. pages 32-33). Quant à son objectif, il est très ambitieux : atteindre le zéro émission nette de CO₂ à horizon 2050. « *Nous avons entamé*

notre virage durable il y a plusieurs années, mais désormais, le secteur change de vision. La décarbonation apparaît moins comme une contrainte que comme une opportunité, permettant notamment aux aéroports de se transformer en hubs énergétiques », note Matthieu Piron.

NOUVELLES PRATIQUES ET PROGRÈS TECHNOLOGIQUES

Les aéroports ne détiennent toutefois pas la clé de



Matthieu PIRON est ingénieur diplômé de l'École nationale supérieure d'Arts et Métiers et titulaire d'un master spécialisé en Gestion de projets internationaux. Il a rejoint le Groupe ADP en 2014 et il est devenu directeur général d'Hydrogen Airport en 2023.



Matthieu PIRON,

Direction Développement durable et Affaires publiques du Groupe ADP,
directeur général d'Hydrogen Airport.

« Hydrogen Airport accompagne les aéroports dans leur transition vers l'hydrogène »

« Les premiers avions commerciaux à l'hydrogène sont attendus pour 2035, mais c'est aujourd'hui que les aéroports doivent adapter leurs infrastructures. Nous y avons travaillé - Groupe ADP en partenariat avec Airbus et Air Liquide - lors de ces deux dernières années pour étudier les adaptations nécessaires sur nos aéroports parisiens. De ce constat et cette expérience est né « Hydrogen Airport ». Créé par Air Liquide et le Groupe ADP, notre coentreprise propose une offre de services et d'ingénierie pour accompagner les aéroports dans leur transition vers l'hydrogène. Nous bénéficions de l'expertise d'Air Liquide de plus de 60 ans, notamment dans le domaine de la production d'hydrogène renouvelable ; et des compétences du Groupe ADP en matière de design et d'opérations aéroportuaires. Ce partenariat traduit notre ambition commune : préparer le déploiement d'une aviation mondiale décarbonée. »

la décarbonation du secteur, puisqu'ils ne représentent que 3 % des émissions de CO₂ du transport aérien. C'est sur l'avion, et plus précisément sur sa consommation de carburant, qu'il faut agir en priorité. Pour la limiter, une nouvelle pratique a fait son apparition : l'éco-pilotage. « Avec les règles actuelles de la circulation aérienne, il est possible seulement en haute altitude en vitesse de croisière ainsi qu'en descente continue douce, ce qui limite son impact. Sur un moyen courrier, l'économie n'est que de 100 kg de CO₂. Néanmoins, multiplié par le nombre de vols, ce n'est pas négligeable », explique Matthieu Piron. Des

actions sont également mises en œuvre au sol, telle que la limitation des temps de roulage des aéronefs. Un autre levier d'amélioration est technologique, avec l'émergence de motorisations de moins en moins énergivores. « À trafic équivalent, chaque renouvellement de flotte équivaut à une baisse de 30 % de la consommation », précise Matthieu Piron.

SAF ET HYDROGÈNE LIQUIDE

La piste la plus prometteuse pour décarboner reste le remplacement du kérosène d'origine fossile par des carburants verts. Ceux fabriqués à partir de matières premières durables (dans l'aérien on les appelle les SAF, pour sustainable aviation fuel) sont les plus rapides à déployer. Qu'il s'agisse de bio-carburants issus par exemple d'huiles de cuisson recyclées ou de carburants de synthèse comme le e-kérosène, ils peuvent en effet être utilisés sans modifier ni les moteurs des avions, ni les chaînes de valeur logistiques existantes. « Mais ils ne sont pas encore produits en quantités suffisantes et surtout, ils ne suppriment pas l'intégralité des émissions carbone, indique Matthieu Piron. Si l'on veut atteindre le NetZéro à horizon 2050, c'est l'hydrogène liquide décarboné, seul fuel qui ne rejette pas de CO₂, qui devrait être le plus efficace à moyen et long termes. » L'usage de l'hydrogène liquide nécessitant, lui, d'adapter motorisations et infrastructures logistiques, le secteur s'est d'ores et déjà mis en mouvement pour opérer sa transition vers ce nouveau carburant (voir encadré). « En parallèle, le marché français doit arriver à maturité, pour que la production soit massive et les prix, compétitifs », conclut Matthieu Piron.

COOPÉ- RER



« Il n'est pas facile d'être PIONNIER! »



Reyer WILL

« Reyer WILL est chef de projet MAGPIE, port international de Rotterdam. »

ILS SONT 45 AUTOUR DE LA TABLE MAGPIE'. CES PARTENAIRES EUROPÉENS, INSTITUTS DE RECHERCHE, UNIVERSITÉS, PORTS, ENTREPRISES, AUTORITÉS LOCALES, SONT RÉUNIS DANS UNE COLLABORATION UNIQUE EN EUROPE. OBJECTIF : DÉVELOPPER DES TECHNOLOGIES INNOVANTES, PARMI LESQUELLES LES NOUVEAUX CARBURANTS.

Si vous deviez résumer MAGPIE...

Il s'agit d'un projet crucial pour identifier les bonnes pratiques mais aussi les obstacles à dépasser afin de mettre en œuvre dans les ports les objectifs du Pacte vert pour l'Europe. À l'heure où les questions de transition énergétique sont plus que jamais d'actualité, les ports doivent s'adapter rapidement, notamment en installant des infrastructures de recharge pour les carburants renouvelables. MAGPIE est donc un laboratoire vivant qui conduit des projets pilotes dans trois domaines : la transition digitale, les connexions hinterland et les énergies alternatives. Le port vert du futur est au cœur de MAGPIE...

Deux ans après sa création, où en est-on ?

Il n'est pas facile d'être pionnier sur ces sujets dont on connaît les enjeux ! Nous avons donc pris le temps de développer notre méthodologie et de dresser notre feuille de route. Nous avons divisé nos

projets en dix groupes de travail. L'un est ainsi dédié au transport maritime et fluvial ; un autre aux besoins en énergie et aux chaînes d'approvisionnement ; un autre porte sur l'élaboration d'un schéma directeur pour les ports verts. Nous sommes maintenant arrivés à un stade avancé du processus et avons soumis des propositions à l'Union européenne ; l'heure est donc à l'action pour expérimenter les outils. C'est en ce sens que les partenaires de MAGPIE se sont réunis au Havre le 27 septembre 2023 : l'objectif était de discuter du contenu des groupes de travail et d'une série de projets de démonstration. Mais aussi de confronter les expérimentations avec la réalité de l'écosystème portuaire de l'axe Seine.

Sur quelles thématiques travaillez-vous ?

Citons pêle-mêle les problématiques liées à la production de bio-fuels, les systèmes énergétiques intelligents, le jumeau numérique portuaire, le conte-

neur à énergie verte pour la navigation intérieure, la locomotive de manœuvre hybride et bien sûr toute innovation visant à accroître l'utilisation de l'énergie verte.

Quid de vos travaux sur les nouveaux carburants dans le secteur maritime ?

Les carburants de demain doivent s'inscrire dans la transition énergétique et prouver leur efficacité. L'ammoniac, l'électricité, l'hydrogène répondent à ces enjeux. La démarche MAGPIE consiste donc à imaginer et mettre en place sur le port de Rotterdam des démonstrateurs, capables d'apporter des solutions respectueuses des contraintes de l'UE, qui pourront être reprises par nos partenaires et les ports partenaires en particulier. J'ajoute que les volumes du commerce international continuent d'augmenter ; il faut donc engager des changements radicaux sur tous les terrains : carburants verts, durables, mais aussi outils numériques, etc. Décarboner le transport maritime ne tiendra pas en un mot mais en une gamme de solutions complémentaires.

Comment décarboner les ports ?

L'une des forces de MAGPIE est de compter des ports parmi ses partenaires, outre Rotterdam et HAROPA PORT, je cite le port de Sines (Portugal) et Delta Port (Allemagne). Ensemble, nous travaillons par exemple sur le soutage de l'ammoniac, notamment au regard de la sécurité, afin que son utilisation soit possible

sur les ports. De grandes questions logistiques se cachent derrière ce sujet. Nous sommes à l'avant-garde et c'est en partageant nos connaissances que nous accompagnons ces innovations, pour que d'autres places portuaires s'en inspirent. Notre force est de travailler avec des experts et partenaires nombreux et qualifiés. C'est cette force collective que nous permettra de diffuser prochainement une étude sur l'utilisation de l'ammoniac sur les ports.

Êtes-vous satisfait de l'avancée des travaux de MAGPIE ?

Les innovations sont développées à Rotterdam ; si les essais sont concluants, HAROPA PORT, le port de Sines et Delta Port dupliqueront le ou les projets de leur choix en fonction de leur besoin et de leur territoire. Je serai donc satisfait... lorsque tous nos partenaires impliqués auront trouvé, dans les trois années à venir, une motivation permanente pour reprendre à leur compte, voire améliorer le projet MAGPIE.

I. sMArt Green Ports as Integrated Efficient multimodal hubs. Le projet créé en 2021 a reçu un financement de l'Union européenne à hauteur de 25 millions € sur 5 ans. www.magpie-ports.eu

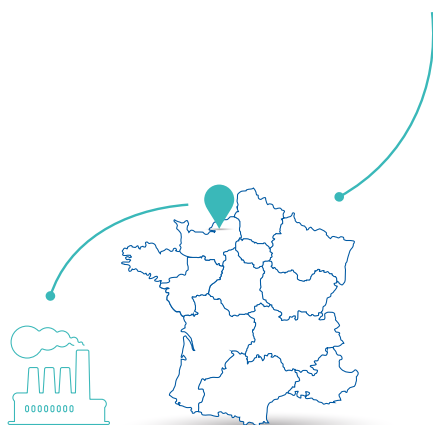
« Je crois en cette collaboration car face à l'urgence, on est toujours plus intelligent à plusieurs », confie Stéphane Raison, président du directoire de HAROPA PORT, membre fondateur de MAGPIE.

Quand SOCRATE réunit port et industriels...

Créée en mai 2023, l'association SOCRATE¹ regroupe HAROPA PORT et trois associations d'industriels : Synerzip-Le Havre, Incase (Industrie Caux Seine) et Upside Boucles de Rouen. Son ambition ? Définir des trajectoires communes pour atteindre une neutralité carbone sur l'axe Seine en 2050.

Le projet d'études est porté par SOCRATE, lauréat de l'appel à projets ZiBaC, pour Zones industrielles Bas Carbone. D'un montant total de 15 M€, il bénéficie d'une aide de 74 M€ de l'État. La coopération au sein de l'association a déjà permis de définir plusieurs trajectoires.

Citons en premier lieu le développement de réseaux communs d'énergie et de matière (chaleur, CO₂, H₂, déchets, eau, oxygène, etc.) au service de l'efficacité énergétique et d'une écologie industrielle et territoriale. Sont également étudiées les conditions nécessaires à l'émergence des nouvelles filières comme les énergies renouvelables, l'hydrogène ou les carburants de synthèse, notamment l'ammoniac vert, l'e-SAF et l'e-méthanol.



Europe : l'aviation en action

Cinquante-huit professionnels de la communauté aéronautique européenne relèvent le défi de la décarbonation de l'aviation.

Comment rendre les opérations aéroportuaires et aériennes neutres en carbone ? Comment développer l'intermodalité pour les passagers et le fret ? Quelles solutions circulaires pour la fin de vie des avions ? Ces défis du monde aérien sont unanimement portés depuis le mois d'octobre 2021 par les membres d'OLGA² : « représentants de dix pays, nous unissons nos compétences pour étudier et tester des solutions visant à accélérer la transition environnementale du secteur de l'aérien », explique Virginie Pasquier, coordinatrice du projet OLGA et chef de projets Environnement, Groupe Aéroports de Paris. Les premières expérimentations sont en cours : méthode de traçabilité des SAF, conversion de véhicules de piste au biodiesel, économie circulaire, moyens d'accès aux aéroports, hydrogène, etc. « Nos préoccupations sont souvent communes avec celles des ports : notre objectif est donc de travailler plus étroitement avec eux, pour maximiser le bénéfice de nos innovations ».

Le projet OLGA a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n°101036871.

1. SOCRATE pour Synergie pour une Organisation Collective et Raisonnée sur l'axe Seine de la Transition Énergétique

2. OLGA : hOListic & Green Airports

Ammoniac : le Japon prend la barre

L'ammoniac utilisé en toute sécurité comme carburant marin ? Travaux pratiques internationaux depuis le Japon...

Imaginer des porte-conteneurs alimentés à l'ammoniac, c'est s'interroger, d'abord et avant tout, sur la sécurité. Le recours à ce composé chimique comme carburant marin pose en effet des problèmes, en raison notamment de sa toxicité et de sa densité énergétique inférieure à celle des carburants conventionnels. La société japonaise Itochu (Tokyo³) et sept entreprises et organisations se sont saisies du sujet en signant, à l'automne 2023, un protocole d'accord international : l'objectif est d'étudier tous les aspects critiques de la sécurité de l'avitaillement des porte-conteneurs à l'ammoniac, afin de faire de ce carburant sans carbone un combustible à la fois viable et durable.

L'un des principaux sujets de l'étude porte sur l'exploitation simultanée, sur les terminaux à conteneurs, de deux types d'opérations : d'une part le fret de conteneurs et d'autre part l'avitaillement en ammoniac, ce qui est généralement nécessaire pour permettre aux transporteurs de conteneurs de réaliser des gains d'efficacité.

Itochu fait figure de pionnier dans le développement de porte-conteneurs alimentés à l'ammoniac : l'entreprise japonaise a obtenu en 2022 une approbation

de principe pour la conception d'un premier vraquier de 200 000 tonnes alimenté à l'ammoniac. Sur la base des études menées dans le cadre de ce protocole d'accord signé cet automne, l'entreprise prévoit une mise en service à la fin des années 2020. Ce protocole marque donc un virage. D'abord car il s'agit bien, ici, d'étudier le

sujet de l'ammoniac à l'échelle mondiale : les nationalités des partenaires, observateurs et facilitateurs engagés en sont la preuve. Cet accord marque également une étape déterminante vers le développement de navires alimentés à l'ammoniac et la construction d'une véritable chaîne d'approvisionnement mondiale en ammoniac.

3. Présent dans plus de 60 pays, l'entreprise Itochu est spécialisée dans l'import/export de marchandises diverses (textiles, minéraux, énergie, produits chimiques, alimentation, etc.)



SEINE-ET-MARNE

DESCARBURANTS BAS CARBONE

DÈS 2027

En pleine transition vers une plateforme « zéro pétrole », **le site TotalEnergies de Grandpuits** s'équipe d'une usine de production de biocarburants destinés au transport aérien (photomontage).

