

ClimaTech

 MARDI, 14 NOVEMBRE

 ECOLE MINES PARIS – PSL

RÉSUMÉ

PARTENAIRES



Discours d'ouverture



Alain Fuchs
Président
Université PSL

La journée a débuté avec le discours d'Alain Fuchs, président de l'Université PSL, qui a interrogé la voie vers la neutralité carbone, soulignant la nécessité de l'articulation entre la sobriété et l'innovation. Il a mis en avant l'importance de repenser nos modes de consommation, d'embrasser les avancées technologiques permettant de défossiliser notre économie tout en adoptant une approche "écomoderniste", c'est-à-dire pragmatique, critique et responsable.

COMMENT DÉCARBONER VITE ET MIEUX?



JB Rudelle
Président
Zenon Research

Jean-Baptiste Rudelle, président de Zenon Research, a poursuivi en interrogeant la stratégie pour décarboner plus rapidement et efficacement, soulignant la nécessité d'efforts considérables pour atteindre les objectifs de l'accord de Paris. Il a insisté sur l'impératif d'adopter des rythmes de décarbonation sans précédent et cela jusqu'en 2050. L'Europe dit-il, doit garder son avance dans cette transition (-28% d'émissions de CO2 entre 1990 et 2021), pour des raisons de responsabilité historique et d'exemplarité, et aussi pour être leader dans la maîtrise des technologies de décarbonation.

L'INNOVATION AU SERVICE DU CLIMAT



Julia Reinaud
Senior Director
Breakthrough Energy



Gaetan Bonhomme
Partner
Breakthrough Energy Ventures

Julia Reinaud et Gaetan Bonhomme de Breakthrough Energy ont mis en avant la crucialité de l'innovation au service du climat. Breakthrough Energy catalyse des solutions technologiques innovantes pour lutter contre le changement climatique en leur permettant d'être compétitives et industrialisables et c'est la raison de son soutien actif à Zenon Research.

En effet, face à la rapide évolution des technologies climatiques et énergétiques, Zenon fournit des clés de compréhension aux acteurs du changement pour favoriser la collaboration et accélérer la transition vers une économie neutre en carbone.

La ClimaTech, en rassemblant une communauté proactive et pluridisciplinaire, incarne cette raison d'être de Zenon en permettant d'améliorer la compréhension des technologies climat mais aussi les enjeux en termes de financements, de réglementation et de compétences tout en faisant dialoguer différentes parties prenantes de la transition.

09H30

KEYNOTES- POLITIQUES DE DÉCARBONATION

10H30



Nicolas Berghmans
Chercheur politiques
énergie-climat
IDDRI

Nicolas Berghmans, responsable Europe et expert en Énergie-Climat à l'IDDRI, a souligné l'importance centrale des politiques publiques dans la création d'une économie bas carbone. Ces politiques jouent un rôle crucial en encourageant l'innovation, en favorisant la mise sur le marché grâce à des infrastructures et un cadre réglementaire adapté, mais aussi en stimulant la demande "décarbonée" à travers différents mécanismes. Ces trois piliers forment la base de la gouvernance de la transition écologique, permettant :

- d'orienter les actions sur le long terme et de manière volontariste et planifiée, et non pas subie,
- une approche systémique face aux objectifs de transition, tenant compte des limites planétaires, en adoptant une approche par "chaînes de valeurs" pour mobiliser tous les leviers,
- de gérer des enjeux transversaux tels que le financement et la formation, enjeux faisant l'objet de tables rondes dédiées lors de la Climatech.

Dans la continuité du discours de Jean-Baptiste Rudelle, Nicolas a également mis en lumière le rôle particulier de l'Europe qui par le Green Deal fixe des objectifs ambitieux, avec notamment un signal prix fort sur le carbone qui a toute son importance pour rendre compétitives les technologies vertes. Néanmoins, des défis persistent en Europe tels que la difficulté d'accès aux financements, le manque d'infrastructures adaptées ou l'absence de mécanismes pour stimuler la demande.

Enfin, la politique européenne s'inscrit dans un contexte de concurrence internationale accrue, avec d'une part, les Etats-Unis qui planifient leur transition notamment à travers l'Inflation Reduction Act (IRA), d'autre part, la Chine qui a pris (dans un paradoxe carbone certain) une avance considérable en termes d'investissements, d'infrastructures et de maîtrise de la chaîne de valeur des technologies bas carbone et aussi le Japon ou l'Inde.

TABLES RONDES

LES POLITIQUES PUBLIQUES STIMULENT-ELLES LA DÉCARBONATION ?



Servane Metzger-Corrigou
Chief impact Officer
Ring Capital



Thomas Jeannin
Project Director
DGE



Cyprien Canivenc
Rapporteur général du comité de
surveillance des investissements
d'avenir - France 2030



Julie Neuville
Associée
Materrup

Cette table ronde a permis d'illustrer les propos de Nicolas Berghman en faisant dialoguer des représentants de la fonction publique, Thomas Jeannin de la DGE et Cyprien Canivenc en charge du plan France 2030 au SGPI avec des acteurs privés, Julie Neuville, DG de Materrup, une start-up industrielle spécialisée dans la production de ciment bas-carbone et Servane Metzger de Ring Capital.

Julie Neuville a partagé son retour d'expérience quant à l'accompagnement dont Materrup a bénéficié depuis sa création il y a 5 ans. Pour elle, l'État joue bien son rôle via les dispositifs mis en place à différents niveaux (région, BPI, France Relance...) et la réglementation qui encourage les gros acteurs à décarboner et donc de chercher des solutions innovantes. Malgré tout, elle déplore un manque de connaissances et de sensibilisation des services de l'État sur les sujets de transition, un frein majeur lorsqu'on développe une technologie de rupture qui ne rentre pas dans les cases.

Les difficultés auxquelles Matterup fait face viennent aussi du caractère industriel de la startup. Les actifs de production coûtent cher et les temps d'investissements sont longs par rapport à ce que sont prêts à accepter les investisseurs. Un point que rejoint Thomas Jeannin mais qui souligne aussi l'avantage de l'industrie comparée aux autres secteurs : l'industrie beaucoup de gros acteurs qui sont capables d'établir des stratégies de décarbonation à long terme et qui peuvent donc se rapprocher de startups innovantes. Il convient tout de même de lever tous les freins normatifs qui ralentissent la transition de ce secteur, qui reste très conservateur.

Servane a ensuite demandé aux intervenants comment combler le manque d'investissements publics pour la transition comparés à d'autres pays (Etats-Unis, Chine...). Cyprien a mis en avant l'idée de ne pas attendre la panacée technologique mais d'investir dès maintenant sur ce qui est disponible. Il a aussi souligné le rôle de France 2030 (54 Mrds dont la moitié déjà engagée) dont le rôle est notamment de combler ce manque.

Enfin, pour que la transition s'accélère, il est nécessaire de dé-risquer les investissements privés. Comme l'a rappelé Cyprien, le risque peut être de différentes natures : horizon temporel (exemple des SMR dont les chances de succès sont incertaines et la mise sur le marché lointaine), faible rentabilité (incertitudes sur le taux d'intérêt), comportement du consommateur, enjeux de souveraineté... La puissance publique se mobilise déjà à différentes échelles pour réduire le risque (région, France, Europe). Nicolas souligne notamment le rôle important de l'Europe et la capacité du marché européen à permettre des réductions de coûts via des facteurs d'échelle.

Julie a conclu cette table ronde sur une touche d'optimisme : si tous les acteurs coordonnent leurs forces, la transition deviendra une opportunité pour créer de la valeur tant sociale, qu'environnementale ou économique.

MOMENT D'ÉCHANGE

La première question venant de l'audience était de savoir si Materrup travaillait avec d'autres acteurs du secteur pour développer sa technologie. Julie a répondu que d'une part Materrup travaille depuis le début avec les ministères et les filières déjà existantes dans une logique d'accompagnement, mais aussi que la startup a signé un accord de collaboration et de co-investissement avec Vicat, dernier cimentier français, afin de construire 5 usines ensemble.

Une personne a alors rebondi en demandant comment les politiques publiques stimulent ces collaborations entre petits et grands acteurs. Cyprien a évoqué le fait qu'une partie des projets financés par France 2030 sont des consortium ou des pôles de compétitivité. Il y a aussi les dispositifs ciblés pour les territoires comme les Zones Industrielles Bas-Carbone (ZIBAC). Julie Jouvencel dans l'audience a en revanche ajouté qu'il n'existait aucun dispositif ou financement public pour accompagner ceux qui mettent en relation les acteurs comme le fait SoScience.

Enfin, l'audience s'est interrogée sur l'existence d'un critère basé sur le prix de la tonne de carbone évitée lors du choix des projets recevant des financements publics. Thomas a répondu que ce critère est regardé attentivement mais qu'il ne doit pas être le seul. En effet, certaines technologies ont un meilleur potentiel à long terme, qui ne se reflète pas directement dans leur coût actuel. Cyprien a ajouté que le rôle de l'État était aussi de débloquer ces solutions coûteuses mais nécessaires.

Pour terminer, Julie a déclaré qu'il était possible de concilier intérêt économique et réduction de l'impact environnemental et que calculer la tonne de carbone évitée par rapport au CAPEX investi était un bon proxy pour savoir si on est dans la bonne direction.

Elle a finalement invité l'audience à oser investir aujourd'hui et de ne pas attendre pour avoir de l'impact.

11H00

TABLES RONDES

11H45

CLIMATECH : QUEL CONTINUUM D'ACCOMPAGNEMENT ET DE FINANCEMENT DU LABORATOIRE AU MARCHÉ ?

PANELISTE

**Benjamin Tincq**
Founding Partner
Marble

PANELISTE

**David Boujo**
Deeptech Deputy
Director
BPI France

PANELISTE

**Julie Jouvencel**
Managing Director
So Science

MODÉRATRICE

**Karla Balaa**
Directrice adjointe
Innovation et Entrepreneuriat
Université PSL

PANELISTE

**Aurélie Gonzalez**
Co-Founder
Maia Carbon

Cette table ronde était destinée à analyser le continuum de financement en France des startups et des technologies du laboratoire au marché, et de comparer la situation avec celles d'autres pays comme les Etats-Unis afin d'identifier ses points forts et manques à gagner.

Karla Balaa a commencé par demander aux panélistes ce qu'est le parcours typique d'une startup avec un projet climatech/greentech en France, si celui-ci est spécifique et le plus à même de faire émerger les innovations. David a alors rappelé qu'il existe deux grandes approches pour créer une startup, le "techno-push" et le "market-pull". La première approche consiste en un chercheur dans un laboratoire de recherche qui développe une technologie puis décide de fonder une startup pour que cette technologie vienne répondre à un besoin ou résoudre un problème. La deuxième consiste en l'identification d'un besoin sur le marché puis à développer dans un second temps une technologie pour y répondre (en allant chercher les briques technologiques nécessaires dans un laboratoire par exemple). Dans la greentech, la tendance qu'on voit est que des ingénieurs de grands groupes identifient des opportunités dans leur secteur puis vont ensuite chercher la technologie nécessaire.

Benjamin a pour sa part parlé de Marble, startup studio qu'il a fondé, dont le but est de créer des startups qui viennent répondre aux grands problèmes liés au climat dans les différents secteurs. Plutôt dans le market-pull/opportunity-pull donc puisque Marble constitue d'abord une thèse pour chaque secteur puis va chercher des profils capables de monter des projets en leur offrant un accompagnement en plus de devenir le premier investisseur de la startup.

Karla a ensuite abordé la notion de "green-native", et si elle existait aujourd'hui lors de la création de start-up. Julie a répondu qu'au-delà du "green-native", il était nécessaire de trouver des profils "impact-native" considérant les enjeux environnementaux mais aussi sociaux qui selon elle sont impossibles à décorrélés des enjeux climatiques. Ces considérations doivent être intégrées dans la thèse de la startup dès le départ (pas uniquement un sujet RSE).

Aurélie a pu partager son expérience en tant que co-fondatrice de Maia Climate, une startup de DAC créée via une approche "market-pull" dans un startup-studio au UK.

Les principaux défis étaient d'arriver à trouver des co-fondateurs prêts à monter un projet risqué mais aussi la technologie adaptée dans les laboratoires et universités. Les accélérateurs VC lui ont permis de trouver des personnes et des projets en même temps, donc un soutien venant plus de la sphère privée que de la sphère publique.

Face à ce retour d'expérience, Karla a donné la parole à David afin d'évoquer l'accompagnement des startups à la BPI et les challenges que l'écosystème français rencontre. La BPI est notamment chargée du plan deeptech pour le compte de l'État et dotée de 5 Milliards d'euros, finance l'écosystème via le programme SAT destiné à valoriser la propriété intellectuelle des universités (notamment via la création de startups) ainsi que les pôles universitaires d'innovation (160 M€) pour coordonner les acteurs autour des universités et faire émerger les innovations. Les principaux enjeux sont de continuer à professionnaliser l'accompagnement et pour chaque type de projet de pouvoir être redirigé vers l'accompagnement adapté.

Cette idée d'écosystème d'innovation est particulièrement importante pour SoScience qui cherche à favoriser la "co-innovation". Selon Julie, il est nécessaire de créer des coalitions fortes entre acteurs académiques, ONG, industriels etc et de travailler avec des personnes avec qui on a pas l'habitude de travailler afin d'intégrer tous les enjeux et avoir une vision à 360 degrés. Il serait alors possible de concilier performance économique et impact.

Enfin, les intervenants ont partagé leur vision quant aux avantages et manques de l'écosystème français. Pour Benjamin, il y a énormément d'avantages à démarrer un projet en France car il y a une masse de talents, de l'accompagnement public, un coût du travail bas comparé aux Etats-Unis et de grands clients industriels soumis à des contraintes réglementaires toujours plus exigeantes. Malgré tout, il manque pour lui ce lien entre milieu académique et ambition industrielle entrepreneuriale. Aurélie va plus loin en affirmant qu'il est plus facile pour une startup de trouver des financements aux Etats-Unis avec pour cause leur approche pragmatique mais aussi parce que le marché, les compétences et les ressources sont là-bas. En revanche, elle a mentionné l'avantage de la France avec BPI qui n'a pas d'équivalent en Europe même si elle déplore la durée pour obtenir des financements. David a pour sa part insisté sur la notion de continuum de financement à différents stades d'un projet, qui est efficace jusqu'à un certain point mais plus compliqué lorsqu'on arrive sur une dynamique de croissance (série B ou C par exemple).

MOMENT D'ÉCHANGE

La première question de l'audience portait sur l'existence ou non d'intermédiaires entre les investisseurs et les startups lors des levées de fonds. Benjamin et Aurélie ont répondu que cet intermédiaire a un intérêt pour les séries d'investissements plus hautes mais aucun pour du early stage. Ce serait plutôt un mauvais signe. David salue en revanche la démarche vertueuse de certains business angels qui viennent apporter de la méthodologie et de l'aide organisationnelle aux CEO de ces startups naissantes.

Une personne du public a ensuite fait part de son étonnement quant à l'optimisme des intervenants sur la prise en compte de l'impact dans les financements américains chez qui la taxonomie est moins stricte. Ce à quoi Benjamin a répondu qu'ils étaient pourtant de loin les plus actifs sur ce genre de deals et que la taxonomie avait peu d'influence sur les investissements early stage mais plutôt à l'échelle industrielle. Aurélie et lui ont ajouté que résoudre le problème du climat était la plus grosse opportunité économique du siècle, ce qui expliquait l'opportunisme des américains.

Aurélie a ensuite rebondi en mentionnant le manque de connaissances sur les sujets climat des VC français et européens et Julie a évoqué le temps considérable pour accéder aux financements publics (mise à disposition des fonds, dossiers complexes...) comparé aux Etats-Unis. Pour David, ce problème de délais à rallonge est bien identifié à la BPI et des progrès sont réalisés notamment grâce au plan France 2030 qui contient un KPI sur les délais de traitement des dossiers.

La dernière question portait sur l'augmentation des investissements chinois en Europe et la façon dont ils sont perçus. David n'a pas relevé une vague d'investissements chinois ni même étrangers ces dernières années et la tendance est plutôt même au reflux de ces investissements au profit de la souveraineté industrielle notamment avec les actifs stratégiques, qui sont surveillés de près par le gouvernement.

12H00

TABLES RONDES

12H45

QUEL AVENIR POUR LE MARCHÉ VOLONTAIRE DU CARBONE ?



JB Rudelle
Président
Zenon Research



Paolo Piffaretti
Co-Founder
CarbonX



Florian Boulte
Founder
450 ppm



Guillaume Poupy
Expert transition
énergétique
BNPP

Créé lors de la CCNUCC en 2000, le Marché Volontaire du Carbone, développé parallèlement au marché Réglementaire du Carbone né à la suite du protocole de Kyoto de 1997, permet aux entreprises et aux individus dont les activités émettent du CO₂ de volontairement prendre des mesures en faveur du climat en contribuant à des projets d'évitement et/ou de séquestration carbone certifiés. Ce marché s'immisce de plus en plus dans les expertises bancaires comme axe stratégique, notamment chez BNPP représentée par Guillaume Poupy expert transition énergétique, mais fait aussi naître de nouveaux acteurs ambitieux présents lors de la Climatech, comme 450 ppm fondé par Florian Boulte et CarbonX cofondé par Paolo Piffaretti.

Ce sujet nécessite une rigueur sémantique que nos intervenants se sont efforcés de clarifier.

D'abord, il est essentiel de faire la distinction entre la compensation carbone, qu'elle soit volontaire ou réglementée, et la contribution à la neutralité carbone. La compensation carbone est un instrument à la disposition des organisations, entreprises et États pour participer à l'atteinte de la neutralité carbone. Lorsqu'on parle de compensation carbone, on fait référence à l'achat de tonnes de CO₂ sous forme de quotas ou de crédits carbone afin de compenser les émissions de gaz à effet de serre. En revanche, la contribution à la neutralité carbone englobe une démarche globale qui implique l'évaluation, la réduction et la compensation des émissions, représentant ainsi une approche holistique de l'objectif de neutralité carbone.

C'est dans cette démarche de contribution que 450 ppm utilise les Credit Carbone Volontaires pour financer les entreprises qui permettent de décarboner les usages essentiels. 450 ppm apporte aux entreprises engagées dans leur trajectoire de décarbonation des solutions pour faire face à leurs émissions résiduelles en finançant la décarbonation d'usages et en contribuant ainsi à la neutralité climatique globale.

Ensuite, parmi ces crédits, il est important de distinguer les crédits permanents ("2 siècles ou plus" précise Paolo Piffaretti) des crédits temporaires (projets forestiers par exemple), et de faire la distinction entre le carbone évité, éliminé ou séquestré :

- Carbone évité : fait référence à la réduction des émissions de gaz à effet de serre qui auraient autrement été libérées dans l'atmosphère. Exemple : l'utilisation d'énergies renouvelables à la place des énergies fossiles.
- Carbone éliminé : désigne la capture et la réduction directe des émissions de dioxyde de carbone déjà présentes dans l'atmosphère. Exemple : technologies de capture directe de l'air (DAC).
- Carbone séquestré : désigne le stockage à long terme du dioxyde de carbone hors de l'atmosphère par des processus naturels (biologiques et géologiques), ou industriels. Exemple : capture du CO₂ des installations industrielles dans des sites de stockage (Carbon Capture and Storage).

CarbonX vise justement à faciliter l'accès à des solutions de captage et de stockage permanent du dioxyde de carbone de haute qualité pour les grandes entreprises. CarbonX se focalise sur quatre voies principales d'élimination : la capture directe de l'air (DAC), et des procédés de géo-ingénierie tels que les solutions à base biologique avec stockage à long terme, l'altération forcée (Enhanced Rock Weathering), et l'augmentation de l'alcalinité des océans pour stimuler la séquestration du carbone.

MOMENT D'ÉCHANGE

A la question "est-ce que ce marché du carbone n'est pas contre productif ?", les intervenants répondent qu'au-delà de l'enjeu d'image indéniable qu'il peut représenter pour certaines entreprises, ce marché n'est pas forcément synonyme d'inaction et d'irresponsabilité lorsque les crédits sont de qualité ("acceptable"), et la démarche de l'entreprise systémique. Florian Boulte a utilisé une formule intéressante en parlant du marché carbone volontaire comme une manière de faire de la "non-émission de carbone" un service écosystémique.

De façon pragmatique, les intervenants ont surtout défendu l'idée que ces mécanismes permettent aussi de s'attaquer aux émissions "hard-to-abate" (c'est-à-dire incompressibles comme pour le ciment ou l'agriculture). Le GIEC, dans son rapport de 2022 sur l'atténuation, va dans ce sens en soulignant : "The deployment of carbon dioxide removals to counterbalance hard-to-abate residual emissions is unavoidable if net zero emissions are to be achieved", donnant ainsi toute sa place au marché volontaire du carbone.

Ce dernier rapport expose l'ampleur du défi, indiquant que limiter le réchauffement à 1,5 °C se traduit par environ 6 GtCO₂ d'élimination de dioxyde de carbone par an d'ici 2050. Pour donner une idée, cela représente un poids supérieur à celui de l'ensemble du pétrole produit aujourd'hui, un défi monumental...

KEYNOTES- HUBS INDUSTRIELS

14H00

–

15H00



Jean-Marc Galland

Directeur du pôle territorial
Secrétariat général pour
l'investissement

Pour transcender la perspective des industries en silo et promouvoir une vision systémique plus intégrée, divers leviers sont mobilisés, principalement sous l'impulsion des politiques publiques responsables de la régulation, de la prestation de services et de la coordination. La loi sur l'énergie verte et le programme territorial, établissant des binômes entre élus et chefs d'entreprise, illustrent cette approche coopérative.

Jean-Marc Galland, directeur du pôle territorial au Secrétariat général pour l'investissement, a présenté de manière détaillée le plan France 2030, initié en 2021 par le Président Emmanuel Macron. Ce plan vise à accélérer l'innovation et à positionner la France en tant que leader mondial en transformant les secteurs clés de l'économie. S'étalant sur cinq ans, ce plan représente un investissement massif de 54 milliards d'euros, aligné sur les principes de France Relance et consacré notamment à la décarbonation, avec une attention particulière à l'électrification massive des usages.

La transition fondamentale vers une économie axée sur la transition écologique et énergétique impacte l'ensemble de la société, remodelant l'économie, l'industrie et l'aménagement du territoire. Les opérateurs de réseaux, dépendant des collectivités publiques tout en étant autonomes, nécessitent une coopération soutenue pour planifier efficacement leurs actions. La décarbonation occupe une place prépondérante, avec 50% des crédits de France 2030 dédiés à cette cause, soulignant l'engagement en faveur de l'environnement.

Les hubs industriels émergent comme des catalyseurs de revitalisation pour d'anciennes zones industrielles, générant des retombées positives sur l'emploi, la formation, le logement et les services. Les "zones industrielles bas carbone" (ZIBAC), telles que celle du Port de Dunkerque, illustrent parfaitement cette dynamique, avec une collaboration étroite entre les acteurs.

Les acteurs publics, allant des collectivités territoriales aux préfets et sous-préfets, en passant par les opérateurs de l'État, jouent un rôle crucial dans la gouvernance et la collaboration entre les différents projets. Il est essentiel d'impliquer la population en tant que relai d'influence, en rendant les hubs industriels attractifs et motivants, favorisant ainsi un cercle vertueux qui bénéficie également aux entreprises au cœur de ces pôles.

HUBS INDUSTRIELS : COMMENT COORDONNER LES ACTEURS POUR RÉUSSIR LA DÉCARBONATION ?



François Verrecchia
Co-Founder & CEO
Compagnum



Xavier Florent
R&D Program Director
RTE



Damien Chambolle
Program Manager
Decarbonisation
ArcelorMittal Méditerranée

Afin d'animer les débats autour de cette question de coopération, un dialogue modéré par François Verrecchia, co-fondateur et CEO, de Compagnum, entre deux représentants au rôles clefs.

Xavier Florent, Directeur de recherche du projet "Climat, équilibre offre-demande et réseau long terme" chez RTE qui a estimé que "la France a les moyens de nourrir son ambition de réindustrialisation et de décarbonation de l'industrie grâce à une électricité décarbonée et compétitive, à condition que les grandes zones d'implantation bénéficient des infrastructures nécessaires. Exemple de zones : Dunkerque, Le Havre et Fos-sur-mer où sont les industries les plus émettrices et où le besoin d'électrification est très fort. L'électricité doit être décarbonée, grâce aux énergies renouvelables et au nucléaire, et compétitive notamment grâce à des leviers fondamentaux de sobriété, d'efficacité énergétique, et de flexibilité.

En parallèle, le réseau très haute tension (THT) doit également être fortement renforcé. Pour cela RTE coopère avec de nombreux acteurs, notamment du côté de la recherche. Florent Xavier nous a présenté un exemple de réussite de coopération : le projet "PlaneTerr" répondant à un appel à projet de France 2030 soutenant à hauteur de 3,4 millions d'euros sur un budget total de 12,9 millions d'euros. Ce projet rassemble deux industriels, Air liquide et Total Energies, deux gestionnaires du réseau gaz et électrique, GRTgaz et RTE, et un centre de recherche universitaire, les Mines de Paris. PlaneTerr est un projet innovant de recherche et de démonstration pour planifier le couplage sectoriel, notamment la synergie entre vecteurs électriques, gaz et chaleur, tout en intégrant au mieux les technologies de demain.

Damien Chambolle, manager du programme "Décarbonation net zero" chez ArcelorMittal Méditerranée, qui nous a parlé de la dynamique de décarbonation de l'entreprise et de la myriade d'acteurs impliqués dans une zone géographique stratégique.

L'industrie de l'acier est extrêmement énergivore et émettrice de CO₂. ArcelorMittal a pour objectif de réduire de 35% ses émissions sur le scope 1 et 2 d'ici 2030, et d'atteindre zéro émission de CO₂ directe et associée aux énergies d'ici 2050. Pour l'étape 2030, c'est 1,7 milliards d'euros investis sur les sites de Dunkerque et Fos-sur-mer. Projet de décarbonation d'ailleurs soutenu par France Relance. L'acier français étant très compétitif et très bien recyclé, il y a un enjeu fort de conserver voire d'augmenter cette compétitivité tout en étant leader d'un acier bas-carbone et innovant.

Le constat de Damien Chambolle est que l'acier sera inévitable dans notre futur et notamment dans un monde bas carbone consommateur d'acier notamment dans les éoliennes. Il est donc fondamental d'investir pour décarboner sa production. Damien Chambolle nous a présenté ensuite plus en détail le site de Fos-sur-mer qui accueille une dynamique multi-acteurs sur un périmètre élargi à très fort enjeux. Faisant écho au discours de Jean-Marc Galland sur les enjeux de coopération, d'acheminement en ressources et d'attractivité de ces zones industrielles notamment pour la population.

MOMENT D'ÉCHANGE

La question de l'audience portait sur l'existence d'une injonction contradictoire entre d'une part la dynamique de réindustrialisation de la France, et d'autre part la loi zéro artificialisation nette et la préservation de la biodiversité.

Question encore peu traitée et peu mature à l'échelle réglementaire et nationale selon Jean-Marc Galland. Damien Chambolle apporte son témoignage : ArcelorMittal s'efforce de construire ses équipements neufs (exemple d'un nouveau four électrique) sur des terrains déjà construits, afin de préserver la zone naturelle présente sur le site, impliquant un coût supplémentaire assumé par le géant de l'acier. Enfin, Xavier Florent souligne que la question de la biodiversité est au cœur des préoccupations chez RTE. Des corridors de réseau sont développés en préservant la biodiversité environnante.

15H30

TABLES RONDES

16H15

FORMATIONS : QUELLES ÉVOLUTIONS POUR ACCÉLÉRER LA TRANSITION ?



MODÉRATEUR

Xavier Blot
Professeur associé
EM Lyon



PANELISTE

Charlotte Halpern
Chargée de
recherche
Sciences Po



PANELISTE

Edith Le Cadre
Professeure
d'Agronomie
Institut Agro Rennes-
Angers



MODÉRATEUR

Wim Van Vassenhove
Associate Professor,
PHD
Mines Paris -PSL



PANELISTE

Aymeric Penven
Directeur DeepTech
HEC Paris



PANELISTE

Laurent Sauvanet
Responsable de la
formation continue
INSP

En parallèle des enjeux technico-économiques foisonnants, la question de l'éducation et de la formation est encore trop peu abordée. Pourtant, il s'agit d'un enjeu décisif pour forger un avenir souhaitable pour les générations futures. Les discours de jeunes diplômés s'interrogeant sur la cohérence de leur formation et leur métier avec les limites planétaires et l'urgence environnementale sont de plus en plus retentissants. Entre bifurquer et désertier, n'y a-t-il pas une place pour une troisième voie ? Il est grand temps que la sphère académique aligne ses formations avec la planification de long-terme.

Le besoin en talents et en expertise est urgent et à déployer dès demain. Xavier Blot, professeur associé à emlyon business school et responsable de la majeure « Agir pour le climat » au sein du Programme Grande Ecole, introduit le panel "Formations: quelles évolutions pour accélérer la transition ?" en rappelant le rôle ambivalent de la formation : perpétratrice de statu quo d'une part, elle porte en elle aussi la solution pour combler les fractures. Il semble que le défi soit rude. Il faut concilier l'hétérogénéité des volontés avec une formation qui est une ressource encore trop rare. Aymeric Penven, Directeur DeepTech à HEC Paris, ironise en disant que nous revenons à un sempiternel problème d'allocation de ressources : il faut maximiser l'impact sous contrainte de disponibilité !

La question "qui faut-il former ?" a aussi toute sa légitimité. Il ne s'agit pas uniquement de former de cadre et managers, mais aussi de former une nouvelle main-d'œuvre qualifiée et spécialisée, pensons par exemple à "l'école de la batterie" de Verkor ou encore aux artisans de la réparation, et de faire diffuser dans la société une base commune de savoir et de clefs de lecture des enjeux énergie-climat afin d'avoir un "langage commun". C'est ainsi que Laurent Sauvanet de l'Institut national du service public, nous a partagé l'objectif de formation obligatoire (et c'est une première!) pour 25 000 cadres de la fonction publique sur les sujets environnementaux.

Du côté des Grandes Écoles françaises représentées lors de la ClimaTech, les formations évoluent : Edith Le Cadre, professeur d'agronomie à l'Institut Agro Rennes-Angers, a souligné l'importance vitale des approches transdisciplinaires intégrant les dimensions politiques, économiques et sociétales. Dans la même lignée, Charlotte Halpern qui a pris la direction du nouvel Institut pour les Transformations Environnementales de SciencesPo, a pu en présenter les lignes directrices qui visent à couvrir les aspects sociopolitiques de la transition. De toute évidence, de nombreuses initiatives stimulantes voient le jour dans le domaine de l'enseignement supérieur afin de relever les défis environnementaux. La coordination et coopération entre l'enseignement, les acteurs industriels et les entrepreneurs sera décisive pour l'avenir.

16H30

KEYNOTES- DEPLOIEMENT TECHNOLOGIQUE

17H30



Robin Girard

Directeur scientifique de
Zenon & chercheur associé à
Mines Paris - PSL

Robin Girard, Directeur scientifique de Zenon et chercheur associé à Mines Paris - PSL, a un point essentiel : les technologies à développer le plus dans le court et moyen sont déjà là ! Il s'agit principalement des énergies renouvelables, des pompes à chaleur, du nucléaire (SMR), ou encore le développement de l'acier bas carbone.

Sur le plus long terme, l'Agence internationale de l'énergie dans son rapport 2023 prévoit que la part des réductions d'émissions prévues pour 2050 provenant des technologies en cours de développement sera de 35%. Il est intéressant que dans son rapport de 2021, ce chiffre était de 50% illustrant une accélération notable de maturité ou de déploiement de certaines technologies.

La question du développement des technologies climat renvoie à deux questions:

1. La question de l'**échelle** convoquant de nombreux défis et complexité : la gestion complexe des chaînes d'interdépendances amont-aval, des infrastructures hautement capitalistique nécessitant des investissements importants (CAPEX>OPEX), et la robustesse face aux aléas mondiaux et la mise en place d'une stratégie industrielle solide.
2. La question de la **vitesse** se heurtant à plusieurs défis cruciaux notamment la nécessité de synchroniser leur intégration avec les besoins et les acteurs impliqués dans la transition. De plus, il est essentiel de relever le défi d'anticiper les enjeux futurs tout en maintenant un objectif à long terme, même lorsque les gains immédiats peuvent sembler plus intéressants à court terme.

Un exemple canonique est le déploiement des énergies renouvelables qui nécessite une accélération majeure, notamment en France et en Europe. Pour rappel, dans le cadre du plan REPower EU, plus de 320 GW d'énergie solaire photovoltaïque d'ici à 2025 (soit plus du double par rapport à 2020) et près de 600 GW d'ici à 2030 doivent être installés. Pour atteindre les objectifs européens, il faudrait donc installer près de 50 GW par an dont au moins 20 GW produits localement, contre 25,9 GW installés en 2021 à titre comparatif.

En France, les objectifs de développement consistent à passer d'une capacité installée de 13 GW d'énergie solaire en 2021 à 100 GW en 2050. Il faudra alors installer annuellement entre 3 et 7 GW d'énergie solaire sur les trois prochaines décennies. Pour l'instant, la France est en retard sur ses objectifs de déploiement...

TABLES RONDES

COMMENT ACCÉLÉRER LE DÉPLOIEMENT DES INNOVATIONS ET TECHNOLOGIES CLIMAT ?



Robin Girard
Directeur scientifique
de Zenon & chercheur
PSL



Pascal Richard
Co-Fondateur
Carbon



Laurent Allidières
Directeur technique
adjoint
AIR LIQUIDE

Le premier panelists était Pascal Richard, cofondateur de Carbon, entreprise française qui sera d'abord implantée à Fos-sur-mer dans le but de produire 5 GW/an de photovoltaïque en dès 2025, 20 GW/an de panneaux solaires d'ici 2030, et 3,5 GW de modules d'ici quelques années, générant ainsi plus de 10 000 emplois directs. L'entreprise a l'ambition de devenir un leader européen d'ici 2030 avec un objectif de 30 GW/an.

Pascal Richard rappelle et insiste sur le fait qu'historiquement le photovoltaïque moderne est né en Europe, en France notamment avec PhotoWatt, il y a quelques décennies déjà. Mais depuis une dizaine d'années, la chaîne de valeur du photovoltaïque s'est surtout intensifiée et développée en Asie, particulièrement en Chine faisant ainsi bénéficier de réduction de coûts importants (un facteur 10 en 10 ans !) et d'un passage à l'échelle compétitif du solaire. Néanmoins, aujourd'hui se pose la question de la souveraineté européenne et du rapatriement de la chaîne de valeur en Europe, et notamment en France.

En effet, en 2022, la capacité mondiale de fabrication de modules photovoltaïques solaires a augmenté de plus de 70% pour atteindre 450 GW pour le polysilicium et jusqu'à 640 GW pour les modules, la Chine représentant plus de 95% des nouvelles installations tout au long de la chaîne d'approvisionnement. C'est dans ce sens que l'IEA appelle à une diversification des acteurs sur la chaîne de production.

Selon le cofondateur de Carbon, chaque pays européen devra jouer un rôle dans la chaîne de valeur afin de créer une compétition dynamique pleine d'émulation et non pas de prédation... Cela se traduit notamment par des investissements massifs dans le solaire photovoltaïque avec plus d'un milliard de dollars investi par jour dans le développement solaire! Pascal Richard souligne un point important : ce déploiement d'énergie renouvelable ne se fait pas automatiquement en substitution directe aux énergies fossiles. En effet, en volume toutes les consommations d'énergie continuent de croître et donc de s'empiler, questionnant ainsi, à raison, le concept même de transition. Sujet d'ailleurs largement discuté par Jean-Baptiste Fressoz pour ceux et celles qui souhaitent approfondir le sujet.

Enfin, Pascal Richard a attiré l'attention sur le rôle clé de l'innovation et de la R&D. Par exemple, il a été mentionné que le photovoltaïque deviendra le premier consommateur industriel d'argent (Ag) d'ici quelques années, il est donc impératif de développer des solutions de réduction ou de substitution. La question du recyclage et de la circularité est aussi un élément vertueux et nécessaire à développer fortement dans cette filière mais pas seulement!



Le deuxième intervenant était Laurent Allidieres, directeur technique adjoint chez Air Liquide qui développe une stratégie ambitieuse (en réflexion depuis 2012 !) de déploiement d'électrolyseurs PEM qui se traduit aujourd'hui par le lancement de gigafactories notamment à Berlin en partenariat avec Siemens (1GW/an). L'objectif d'installer 3 GW d'électrolyseur pour Airliquide (soit 3% de l'objectif européen) d'ici 2030 constitue un enjeu de taille et une réelle transformation d'expertise pour cette grande entreprise qui s'accompagne d'un investissement significatif de 8 milliard d'euros.

Rappelons qu'à l'échelle de l'Europe, dans le cadre de REPowerEU, l'objectif est de produire 10 Mt d'hydrogène vert à horizon 2030, représentant environ 100 GW d'électrolyseur à installer d'ici 2030, à comparer avec des capacités complètement négligeables actuellement. Il faudra donc sans aucun doute faire un arbitrage de l'utilisation de l'hydrogène. Pensons notamment à "l'échelle de l'hydrogène" qui classe les secteurs et usages où l'hydrogène serait soit (en haut de l'échelle, c'est-à-dire prioritaire) inévitable soit (en bas de l'échelle) non compétitif. Rappelons qu'ici hydrogène fait nécessairement référence à l'hydrogène bas carbone, pour l'instant il s'agit principalement de l'hydrogène vert produit par électrolyse alimentée par des énergies renouvelables.

Au-delà de cet aspect théorique, Laurent Allidieres rebondissant sur une question de Robin Girard, a souligné la difficulté de convaincre les clients d'Air liquide de passer à l'hydrogène, c'est notamment le cas dans le maritime où l'hydrogène a toute sa pertinence. Cela soulève qu'il existe des blocages autres que techniques et économiques, des blocages "d'éducation" aux nouvelles technologies ou aux nouveaux vecteurs énergétiques. Les acteurs peuvent également être réticents face au coût supérieur de l'hydrogène ("à quoi bon dépenser plus?"), notamment aux nouvelles technologies à adopter notamment vis-à-vis de la distribution de l'hydrogène. Du point de vue de l'approvisionnement se pose par exemple la question du téflon nécessaire pour les électrolyseurs PEM. L'innovation et la coordination entre les différents dans le domaine de l'hydrogène reste aussi un point d'attention clef.

SCIENCE EN ACTION POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ENVIRONNEMENTALE



Lydéric Bocquet

ENS
Collège de France
CNRS

Pour clôturer cette journée d'échanges, nous avons eu l'honneur de recevoir le professeur Lydéric Bocquet. Plus qu'un discours, il nous a partagé un témoignage. Celui de la mise en action de la science pour la transition environnementale, du passage d'une science "curieuse" à une science "mission". Avant d'être une bascule scientifique à grande échelle, il s'agit d'abord d'un premier point de bascule personnel voire intime. Il nous parle ainsi du "kairos" en 2005 lorsque son fils l'interroge... Que fait mon père, chercheur, pour répondre à la question à la une de Libération "Pétrole, comment s'en passer?". Voici le premier moment entre l'avant et l'après pour Lydéric Bocquet, la voie de Robert Frost qui fut la différence.

Se pose alors la question du lien à créer entre la science, la physique si chère au normalien, et ces questions énergétiques et environnementales vertigineuses. Comment Navier-Stokes at-il pu mener au projet Manhattan pour l'écologie ? Voici l'histoire de ce deuxième basculement : ses travaux de recherches sur les super-flots et la friction quantique posent déjà la question d'une éventuelle application future de "super-membrane" permettant de récupérer l'énergie osmotique. Dès 2013, articles et brevets sont déposés, mais c'est en sortant du paradigme de la recherche fondamentale du temps longs que ces recherches ont trouvé une voie de sortie vers la "science mission" ! Grâce notamment à un nouveau dynamisme porté notamment par les start-ups qui catalysent la temporalité scientifique afin de répondre à une crise qui n'a plus le temps d'attendre d'être résolue. Elles constituent un "outil puissant" selon le chercheur. Il a donc fallu déconstruire les règles du jeu pour la mise à l'échelle. En effet pour passer du laboratoire à l'industrie des nouveaux paramètres pragmatiques apparaissent, notamment la question de l'accès à des matériaux non polluants, peu chers et souverains.

C'est ainsi qu'en 2017, la startup Sweetch a été lancée dans le but de passer à l'échelle les membranes étudiées par Lydéric Bocquet. Des premiers prototypes encourageants ont permis l'aboutissement d'un projet pilote pour 2024 sur le Rhône avec la CNR et EDF. L'objectif à moyen et long terme étant de développer une filière industrielle capable d'aller puiser les 1000-2000 GW disponibles mondialement d'énergies renouvelables, non-intermittente et décarbonée.

Cette expérience personnelle a permis à Lydéric Bocquet de comprendre que les visions de recherches fondamentales d'une part, et les visions industrielles et entrepreneuriales d'autre part pouvaient être réconciliées, cette réconciliation même permettant de libérer la science et d'avoir un impact fort sur la société de demain. Le rapport "Unleashing science" de 2019 souligne justement l'incapacité de la science, plutôt de la structure actuelle de la science, qui ne permet pas de répondre de manière efficace à la crise énergétique et environnementale.

Ce constat motive Lydéric Bocquet et d'autres scientifiques émérites à lancer un appel à un "projet Manhattan" de la transition écologique, faisant écho à un enjeu existentiel sociétal et ontologique, avec comme objectif une accélération de la science de rupture vers l'industrialisation. Ce projet s'articule autour de trois piliers :

- 1.L'évolution des usages et des politiques incarnée par les politiques publiques
- 2.L'efficacité énergétique et procédés incarnée par les industriels
- 3.Le déploiement de nouvelles technologies décarbonées incarnée par des acteurs pluriels et interdisciplinaires demandant un engagement total des chercheurs et ingénieurs sur une période finie et sur un lieu unique avec un pilotage fort

Plus concrètement, il s'agit de faire des feuilles de routes de projets structurées en "Breakthrough Focused Research Organizations" (BFROs) regroupés en sous-thèmes scientifiques. Prenons un exemple concret : la plateforme scientifique "nexus ion-électron" avec comme focus de recherche le BFRO#1 axé sur la chimie verte avec comme livrable potentiel la production d'ammoniac ou d'hydrogène vert, le BFRO#2 axé sur les technologies entropiques avec comme livrables potentiels les usines osmotiques ou les systèmes modulaires de conversion de chaleur.

Évidemment chaque BFROs a besoin de matière grise et de financement. 30 chercheurs et ingénieurs par BFROs est prévu avec un financement de 150 M€ par an et par module (1 module vaut une vingtaine de BFROs), tout en visant une autonomie budgétaire.

Les bénéfices d'une telle organisation sont de permettre concrètement et activement la décarbonation à horizon 2050, de construire des géants industriels français et européens de la transition, et de mobiliser des jeunes ingénieurs et scientifiques en forte demande de sens !

AMMONIAC, DES ENGRAIS AUX CARBURANTS ?



François de Rochette
Analyste technologies
climat
Zenon Research



Antoine Deswazière
Chargé de projet transition industrielle
ADEME

François de Rochette, analyste chez Zenon, a rappelé qu'aujourd'hui encore, la majeure partie de l'ammoniac (70%) est destinée aux engrais, le reste étant utilisé par le secteur de la chimie (plastiques, explosifs...). Le problème est que sa production, très carbonée, est aujourd'hui responsable d'environ 1% des émissions mondiales de CO₂ (2% sur le cycle de vie entier). Décarboner cette production est donc nécessaire pour arriver à la neutralité carbone, d'autant plus que la molécule est désormais aussi convoitée pour d'autres usages...

François a tout d'abord présenté le procédé de production hégémonique Haber-Bosch qui consiste à faire réagir de l'hydrogène avec de l'azote récupéré dans l'air pour obtenir de l'ammoniac. Les combustibles fossiles sont utilisés à la fois pour produire l'hydrogène (72% de gaz) mais aussi pour faire fonctionner le procédé dans une moindre mesure. Décarboner Haber-Bosch revient donc en grande partie à décarboner la production d'hydrogène.

Deux solutions matures existent alors : capturer le CO₂ ou produire l'hydrogène par électrolyse. La première a l'avantage d'utiliser les actifs de production actuels et de pouvoir utiliser le CO₂ capturé pour produire de l'urée en utilisant une partie de l'ammoniac. Pour autant cette solution reste dépendante des combustibles fossiles et l'atteinte de taux de capture élevés est incertaine. La deuxième solution a quant à elle l'avantage de réduire considérablement les émissions (électricité bas-carbone) mais la variabilité de la production peut poser problème avec la stabilité du procédé Haber-Bosch.

François a ensuite évoqué les autres usages possibles de l'ammoniac : carburant pour le transport maritime, production d'énergie ou transport d'hydrogène. L'énergie de l'ammoniac peut être exploitée soit via une pile à combustible soit par combustion, la combustion étant plus mature mais posant quelques problèmes (émissions de NO_x, allumage difficile...). L'ammoniac étant plus dense énergétiquement par unité de volume que l'hydrogène, il est avantageux de l'utiliser pour transporter de l'hydrogène en particulier sur de longues distances. Pour les carburants maritimes, les scénarios prévoient une place majeure en 2050 pour l'ammoniac même si la décarbonation nécessitera une multitude de solutions (méthanol, hydrogène, biocarburants...).

La décarbonation de la production d'ammoniac sera un défi car les usines actuelles sont de grosses unités avec de longues durées de vie et la majorité de la capacité de production est située en Chine où les usines sont jeunes et fonctionnent majoritairement au charbon. Rendre l'ammoniac bas-carbone compétitif sera donc nécessaire et nécessitera notamment d'avoir de l'électricité bas-carbone (production locale dédiée avec stockage par exemple) et des électrolyseurs à bas-coûts ainsi qu'un prix du carbone élevé.

Enfin, François a montré que d'après les différents scénarios, les nouveaux usages de l'ammoniac pourraient induire une hausse de 2 à 3x la demande actuelle de 180 Mt.

Antoine Deswazière, chargé de projet transition industriel à l'Ademe, a ensuite illustré les enjeux mentionnés par François en présentant le plan de transition sectoriel de l'ammoniac pour la France à horizon 2050. Ce dernier reprend l'objectif de neutralité carbone de l'industrie inscrit dans la SNBC et établit plusieurs scénarios à partir de différentes hypothèses et notamment trois facteurs d'incertitudes structurants qui sont : les modèles agricoles, le commerce international et les choix technologiques. Trois scénarios principaux en découlent alors :

1. Un scénario de référence qui se base sur les stratégies de décarbonation actuelles des industriels
2. Un scénario "Résilience et ammoniac renouvelable" avec une agriculture qui tend vers l'agro-écologie, une forte électrification, une préférence pour l'Europe avec une forte compétitivité, une stratégie hydrogène renouvelable...
3. Un scénario "Mondialisation et engrais bas carbone" qui mise sur la technologie et notamment le CCS, les importations massives d'hydrogène et d'ammoniac mais avec une baisse de compétitivité, un maintien de la production d'engrais azotés...

Antoine ajoute que ces scénarios sont contraints par 4 sets d'hypothèses principales : la consommation d'engrais azotés (régimes alimentaires, azote minéral, intrants de synthèse...), la consommation d'ammoniac pour les nouveaux usages, l'évolution du commerce international et l'implémentation des solutions techniques (efficacité énergétique, CCS...).

Les différents scénarios donnent tous une baisse de la consommation d'ammoniac dû à la diminution de la consommation d'engrais azotés qui est en partie compensée par la demande à l'international. Le scénario de référence ne permet pas d'atteindre les objectifs de décarbonation (-65% d'émissions) à cause d'un verrouillage technologique après 2035 dû aux actifs échoués. Il paraît donc nécessaire de choisir une voie technologique unique et cohérente basée soit sur l'hydrogène électrolytique (scénario 2) soit au CCS et à une hausse des importations (scénario 3). Antoine mentionne enfin les investissements qui pourraient être multipliés par 2 à 4 fois par rapport aux investissements actuels notamment à cause du développement des infrastructures hydrogène ou CCS mais qui seront déterminants pour la souveraineté industrielle et énergétique de la France.

MOMENT D'ÉCHANGE

La première question portait sur la possibilité de l'hybridation pour la production d'ammoniac et si cette solution n'est pas possible techniquement ou seulement pas considérée dans le scénario de l'Ademe. Antoine a répondu d'une part que sur un même site la solution est unique. L'hybridation est possible à court terme mais non souhaitable. On pourrait d'ici 2030 répondre à 15% du besoin avec l'hydrogène électrolytique et capter une partie du CO₂ ce qui permettrait de réduire rapidement les émissions à court terme bien mais cela entraînerait un blocage technologique à long terme.

L'audience a ensuite demandé si utiliser l'ammoniac comme vecteur d'hydrogène valait le coup en considérant la faible efficacité du craquage. François a confirmé que les technologies de craquage étaient pour l'instant peu matures et donc que ce n'était pas très intéressant à l'heure actuelle. Malgré tout, ces technologies sont susceptibles d'évoluer et d'autres pistes comme utiliser directement l'ammoniac dans des piles à combustibles sont aussi étudiées.

Une personne voulait aussi savoir si le sujet de la toxicité de l'ammoniac était regardé de près, notamment pour les applications dans le transport maritime. François a confirmé et a mentionné de forts enjeux de certification. Actuellement tous les bateaux à ammoniac sont certifiés un à un.

Enfin, la dernière question concernait le rebouclage sur les besoins en électricité dans les scénarios présentés par Antoine. Ce dernier a confirmé que le rebouclage a été fait dans le plan "Transitions 2050" de l'Ademe sorti en 2021 dont découlent les PTS. Le prochain scénario systémique mettra à jour ce rebouclage dans les mois à venir.

12H00

FOCUS

12H45

DIRECT AIR CAPTURE : VERS LA GIGATONNE EN 2050 ?



PANELISTE

Sylvain Delerce
Associate
Research Director
Carbon Gap



PANELISTE

Aurélie Gonzalez
Co-Founder
Maia Carbon



PANELISTE

Florent Guillou
Chef de projet CCUS
IFPEN



SPEAKER

François de Rochette
Analyste
Zenon Research



MODÉRATRICE

Emma Jagu Schippers
Postdoctoral
researcher
CentraleSupélec

En première partie, François de Rochette a présenté les enjeux globaux autour des technologies de capture directe du CO₂ atmosphérique. La DAC fait partie d'un ensemble de méthodes permettant de générer des émissions négatives, et se doit d'être pensée dans un tel ensemble où aucune méthode ne pourra à elle seule générer les gigatonnes dont nous pourrions avoir besoin d'ici 2050, de l'ordre du milliard de tonnes par an. Cette technologie a l'avantage de permettre un comptage précis des quantités capturées, offre aussi un haut niveau de permanence (lorsque couplée avec du stockage géologique) et l'opportunité de disposer d'une source de CO₂ non fossile qui pourrait s'avérer intéressante dans certaines utilisations (matériaux de construction, carburants synthétiques, chimie).

François a ensuite présenté deux des technologies de DAC les plus matures aujourd'hui : le S-DAC (TRL 7) et le L-DAC (TRL 6) qui se différencient par le type de sorbant utilisé (solide ou liquide). Le premier a l'avantage de pouvoir être modulaire et fonctionnant à basse température et le second permet une régénération intégrée et non par cycles.

La DAC a en revanche besoin de beaucoup d'énergie pour capturer le CO₂ comparé au CCS car sa concentration dans l'atmosphère est faible et est donc plus coûteuse que ces alternatives. Les ACV existant à ce jour, peu nombreuses, indiquent que la DAC devra faire appel à des énergies bas-carbone pour entraîner un bénéfice climatique. Son développement sera donc à articuler habilement avec le déploiement à l'échelle des énergies décarbonées, et ne devra en aucun cas entrer en conflit avec les objectifs de réduction d'émissions drastiques qui doivent se faire en premier lieu. Le passage à l'échelle de la technologie pose notamment la question des coûts économiques et énergétiques, que des améliorations et de nouvelles technologies pourraient améliorer.

Les scénarios misent globalement sur un besoin de l'ordre de quelques milliards de tonnes en fonction des méthodes d'élimination du carbone atmosphérique considérées. Les industriels les plus ambitieux misent sur l'atteinte de la gigatonne dès 2035 ce qui demanderait une mise à l'échelle extrêmement rapide.

François a alors évoqué deux limites structurantes au passage à l'échelle de la DAC : la consommation d'énergie et les coûts. En effet la DAC est actuellement la méthode d'élimination du carbone atmosphérique la plus coûteuse (de l'ordre de plusieurs centaines de \$/tCO₂) mais les perspectives d'évolution sont encourageantes notamment via les économies d'échelle, le learning-by-doing et de la R&D afin de passer en dessous de la centaine de \$/tCO₂. Il est ainsi nécessaire d'améliorer les technologies existantes mais aussi de développer les alternatives (SOFC, ESA...).

Enfin, François conclut en mentionnant les différents enjeux autour de la DAC concernant l'intégrité environnementale (besoin d'ACV solides, énergie bas-carbone seulement), les aspects sociétaux (acceptabilité, conflits d'usage) et les limites techniques de la technologie (chaînes de valeur à créer, stockage géologique à développer). Mais des leviers sont actionnables pour accélérer le développement de la technologie notamment via les politiques publiques (soutien à la R&D, prix du carbone, normes...), le partage de connaissances (innovation, généralisation des ACV...) et enfin le développement d'un marché et d'une économie circulaire du carbone.

PANEL

() les interventions de Florent Guillou n'ont pas pu être récupérées lors de l'enregistrement. Nous mettrons à jour ce document dès que possible.*

Emma Jagu Schippers, chercheuse postdoctorante à CentraleSupélec sur l'élimination du carbone atmosphérique a commencé le panel en demandant aux panelistes ce qu'ils pensent du rôle de la DAC dans la décarbonation. Sylvain Delerce, directeur de recherche associé à Carbon Gap, a répondu que la DAC était certes une technologie jeune mais que c'était l'une des seules technologies d'élimination du carbone atmosphérique permanente. Quant au rôle de la DAC, le GIEC a donné une direction en donnant des volumes de CO₂ à éliminer au niveau mondial mais pas de direction au niveau régional ou local, et trouve son rôle encore sous estimé dans les scénarios du fait de sa maturité. Il a aussi rajouté que la DAC doit venir en dernière solution (travail de priorisation) et ne doit pas entrer en conflit avec les stratégies de décarbonation mais a aussi rappelé que la neutralité carbone ne sera pas atteinte sans des émissions négatives.

Aurélié Gonzalez, co-fondatrice de Maia Carbon, a ajouté qu'il était nécessaire que la consommation d'énergie de la DAC soit en dessous d'un certain seuil pour qu'elle soit autorisée (via de la réglementation) afin de garantir ses bénéfices. Pour autant, les technologies ont besoin d'investissements dès maintenant pour être améliorées.

Emma a ensuite amené les intervenants à parler des grands enjeux techniques de la DAC selon eux mais aussi de la question de l'utilisation du CO₂. Aurélié a alors évoqué l'enjeu de passer à l'échelle les technologies encore en développement comme celles basées sur l'électrochimie qui sont moins énergivores en utilisant notamment les compétences qu'on retrouve dans l'Oil & Gas. Sylvain a quant à lui parlé de possibles goulots d'étranglement à surveiller concernant le transport et le stockage du CO₂ car le gisement en mer du Nord est très convoité et que les infrastructures qui vont être construites ne prennent pas encore en compte les besoins pour le DAC et le BECCS. Ce à quoi Aurélié a ajouté que la minéralisation pouvait aussi être une solution pour stocker le CO₂ et qui doit être développée en parallèle du DAC.

MOMENT D'ÉCHANGE

Une personne de l'audience a tout d'abord demandé aux intervenants ce qu'ils pensaient du rôle de l'Oil & Gas dans la DAC et du problème sous-jacent de l'acceptabilité de la technologie. Aurélié a répondu que ce secteur jouera un rôle certain car il possède des compétences et les ressources nécessaires. Florent Guillou, chef de projet CCUS à l'IFPEN a mentionné l'aspect éthique qui est selon lui à prendre en compte car demain les solutions d'élimination biogéniques pourraient très bien coûter aussi cher du kérosène fossile compensé par du DAC.

La deuxième question de l'audience portait sur les risques que le DAC justifient les émissions et sur la réelle faisabilité technique et économique du stockage permanent. Pour Sylvain, il faut tout faire en parallèle et rappelle la nécessité d'avoir un cadre réglementaire pour éviter les interférences avec les stratégies de décarbonation. Selon lui, le stockage est une technologie qu'on maîtrise assez bien mais qui a eu du mal à se développer car elle n'avait aucun intérêt économique à cause du prix du carbone trop bas. Selon lui, les risques associés sont gérables (on arrive à stocker du méthane qui est un gaz explosif et inflammable).

Aurélié a ajouté que les émissions négatives seront indispensables et que le marché du carbone volontaire pouvait aussi être un moyen de financer ces technologies sans qu'elles entrent en compétition avec la réduction des émissions.

Enfin, Florent a conclu en disant que le captage du CO2 n'était pas qu'un sujet français et qu'il espérait que les pays qui installent actuellement des centrales à charbon considéraient la capture à défaut d'utiliser des technologies décarbonées.

15H30

FOCUS

16H15

BIOCARBURANTS POUR L'AVIATION : QUELS VOLUMES DISPONIBLES EN FRANCE ET EN EUROPE ?



SPEAKER

Thomas Boigontier
Analyst
Zenon Research



SPEAKER

Aicha El khamlichi
Ingénieure
Ademe



SPEAKER

Jérôme du Boucher
Responsable aviation
T&E

Le secteur de l'aviation prévoit une multiplication par 2 à 3,5 du trafic de passagers (RPK) et de marchandises (t.km) d'ici 2050. Si aucune mesure n'est prise, les émissions de CO2 associées pourraient doubler alors qu'elles atteignaient déjà plus d'un milliard de tonnes en 2019, soit 2,8% des émissions mondiales. C'est ce qu'a rappelé Thomas Boigontier, analyste Zenon, en mettant ensuite en avant la nécessité d'actionner tous les leviers disponibles pour décarboner le secteur : réduction de la demande, carburants durables, amélioration des opérations, efficacité énergétique, nouvelles technologies, élimination du carbone atmosphérique...

Les carburants durables en particulier sont considérés comme le principal levier de décarbonation par les acteurs du secteur dans leurs scénarios net-zero (40 à 70% de la baisse d'émission d'ici 2050). Thomas a ainsi présenté et comparé les différentes technologies de production de carburants durables (HEFA, ATJ, BtL, e-BtL et PtL) selon différents critères (TRL, rendement, sélectivité kérosène, réduction d'émissions).

Bien que les électrocarburants (PtL) aient le meilleur potentiel de décarbonation, ils sont encore au stade de démonstration (TRL 5-6). L'Europe et la France misent donc sur les biocarburants pour produire les premiers volumes de carburants durables dans les années à venir. En effet, ceux-ci pourraient devenir compétitifs avec le kérosène fossile d'ici 2030. Ils présentent de nombreux avantages : ils sont pour la plupart déjà disponibles à l'échelle industrielle (HEFA pour le transport routier) permettent des réductions d'émissions allant jusqu'à 125% sur le cycle de vie par rapport au kérosène fossile, et peuvent utiliser de nombreux types de biomasses qui ne sont pour le moment pas valorisées. En revanche, ils nécessitent des surfaces au moins 25x plus grandes que les électrocarburants pour une production similaire, ce qui pose la question du choix de l'utilisation des terres.

Jérôme du Boucher de Transport & Environment a ensuite souligné les limites des biocarburants. En effet, les ressources en biomasse sont limitées en Europe (maximum 11,4% de la demande en 2050) et des conflits d'usages peuvent émerger. De plus, la moitié des huiles usagées pour la production de biocarburants en Europe est aujourd'hui importée, avec des problèmes de fraudes (utilisation d'huile vierge) qui entraînent de la déforestation chez les pays exportateurs. Jérôme du Boucher conclut que les biocarburants joueront un rôle limité et il encourage les pouvoirs publics à diriger les investissements vers les électrocarburants en priorité.

Enfin, Aïcha El Khamlichi a présenté les 4 scénarios "Transitions 2050" de l'Ademe centrés sur la France en précisant les hypothèses et méthodes utilisées notamment pour le bouclage de la ressource en biomasse. Dans tous les scénarios, il reste une part non négligeable de kérosène fossile utilisé en 2050 car le potentiel de production de biocarburants en France est limité même en réduisant la demande. Aïcha a aussi rappelé que les impacts de la production de biomasse sur la biodiversité, l'adaptation des forêts au changement climatique et sur les puits naturels de carbone ne sont pas encore bien évalués. Ils doivent être mesurés pour s'assurer que la production de biocarburants a bien un impact bénéfique sur le climat et les écosystèmes. Un arbitrage est aussi nécessaire entre usages de la biomasse et particulièrement entre filières énergétiques.

Les biocarburants ont donc un rôle à jouer dans la décarbonation du secteur aérien même si celui-ci restera mesuré au regard de la disponibilité des ressources et des limites auxquelles ils font face.

MOMENT D'ÉCHANGE

La première question concernait la part des investissements dirigée vers les carburants durables par rapport aux carburants conventionnels. Les intervenants n'avaient pas les chiffres avec eux pour répondre précisément à cette question mais, en 2022, le marché des carburants durables est évalué à USD 431 Millions et celui du carburant fossile pour l'aviation à USD 252 Milliards. Les carburants durables ne représentent donc actuellement seulement 0.2% du marché. Côté investissements nécessaires pour le net-zero, nous vous invitons à consulter [ce document](#).

Ensuite, l'audience voulait savoir si le secteur des biocarburants pour le transport routier pouvait avoir une influence positive sur la production de biocarburants pour l'aviation. En effet, il est possible d'optimiser les procédés utilisés dans les usines de biocarburants pour le transport routier actuellement pour produire du kérosène. D'autant plus qu'il existe déjà des usines en France permettant de produire ces carburants à l'échelle industrielle.

Une autre question portait sur la possibilité d'importer des biocarburants de pays mieux dotés en ressources naturelles pour répondre à notre demande. Jérôme a répondu que 50% des huiles utilisées par le procédé HEFA sont importés actuellement et que ces importations pouvaient poser des problèmes de durabilité et de fraude. De plus, Aïcha a ajouté que dans les scénarios présentés ces importations étaient bien prises en compte.

Enfin, une personne de l'audience a demandé si les effets du changement climatique sur la ressource en biomasse étaient pris en compte dans l'évaluation du gisement. Aïcha a répondu que c'était le cas même si les événements climatiques récents, notamment la sécheresse qui a causé une mortalité record cette année, ont montré que les impacts futurs étaient sûrement sous-estimés.