

Recueil des résumés

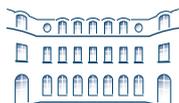


CO₂



Lundi 16
novembre
2020

Déchet **ou**
*Matière Première
d'Avenir ?*



SOMMAIRE

	Page
Objectifs - Comité de Pilotage	02
Programme	03
Conférences	
Didier BONIJOLY <i>Stockage géologique du CO₂ dans les aquifères salins profonds : capacités de stockage en Europe, coûts et contraintes réglementaires.</i>	04
Paul COLONNA <i>Quelles pistes pour tirer parti de la photosynthèse naturelle ?</i>	05
Isabelle CZERNICHOWSKI-LAURIOL <i>Les opérations intégrées de captage, stockage et valorisation du CO₂ en cours et en projet en Europe.</i>	06
Christoph GÜRTLER <i>Brighter use of resources - New CO₂-based materials.</i>	07
Dominique HORBEZ <i>CO₂, une nouvelle ressource pour la chimie de demain ?</i>	08
François KALAYDJIAN, Jean-Pierre BURZYNSKI <i>E-fuels et e-biofuels, une opportunité de valoriser le CO₂ ... mais à quelles conditions ?</i>	09
Clément MERAT <i>Entre captage et stockage, comment transporter le CO₂ par bateau ?</i>	10
David NEVICATO <i>Les émissions de CO₂ et la neutralité carbone.</i>	11
Régis REAU <i>Captage direct du CO₂ de l'air... Vraiment ?</i>	12
Vania SANTOS-MOREAU <i>Démonstration du procédé DMX sur le site d'Arcelor Mittal à Dunkerque.</i>	13

Objectifs :

Les émissions anthropiques de CO₂ sont considérées comme responsables du réchauffement climatique observé depuis la fin du petit âge glaciaire. Au-delà d'une limitation sévère de l'utilisation des combustibles fossiles, les émissions incontournables de CO₂ devront être soit stockées, soit valorisées comme matière première pour la chimie. L'objectif de ce colloque est de faire le point sur les développements en cours dans ces deux domaines.

Comité de Pilotage

Danielle BALLIVET-TKATCHENKO	Comité scientifique de l'ICCDU
Joël BARRAULT	Division de Chimie Industrielle de la Société Chimique de France
Didier BONIJOY	BRGM - Ex-Président du Club CO ₂
Pascale BRIDOU BUFFET	Fondation internationale de la Maison de la Chimie
Édouard FREUND	Fondation internationale de la Maison de la Chimie
Daniel JASSERAND	UNAFIC
Marc J. LEDOUX	Fondation internationale de la Maison de la Chimie
Patrice MEHEUX	Société Française de Génie des Procédés (SFGP)
Margaret VARKADOS-LEMARECHAL	Fondation internationale de la Maison de la Chimie
Bruno WILTZ	Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF)

Programme

09h15

Accueil

09h30

Les émissions de CO₂ et la neutralité carbone.

David NEVICATO - Direction Recherche & Développement - TOTAL

Session 1

Captage et Stockage du CO₂

10h00 - 10h20

Démonstration du procédé DMX sur le site d'Arcelor Mittal à Dunkerque.

Vania SANTOS-MOREAU, Chef du projet 3D (Démonstration du DMX à Dunkerque), IFP Énergies nouvelles

10h20 - 10h40

Captage direct du CO₂ de l'air... Vraiment ?

Régis REAU, Directeur Scientifique R&D, Air Liquide

10h40 - 11h00 **Échanges avec la salle**

11h00 - 11h20 Pause-Café

11h20 - 11h40

Stockage géologique du CO₂ : capacités de stockage en Europe, coûts et contraintes réglementaires dans les aquifères profonds salins.

Didier BONIJOLY, Ex-Président du Club CO₂

11h40 - 12h00

Entre captage et stockage, comment transporter le CO₂ par bateau ?

Clément MERAT, R&D Manager - CO₂ Transport, Total E&P Norvège

David NEVICATO, Direction Recherche & Développement, TOTAL

12h00 - 12h20

Les opérations intégrées de captage, stockage et valorisation du CO₂ en cours et en projet en Europe.

Isabelle CZERNICHOWSKI-LAURIOL, Déléguée à la Recherche et à l'Appui aux Politiques Publiques, BRGM

12h20 - 12h40 **Échanges avec la salle**

12h40 - 14h00 Pause Déjeuner

Session 2

Le CO₂: Matière première

14h00 - 14h20

Quelles pistes pour tirer parti de la photosynthèse naturelle ?

Paul COLONNA Directeur de Recherches émérite, INRAE

14h20 - 14h40

CO₂ une nouvelle ressource pour la chimie de demain ?

Dominique HORBEZ - Technology Scouting Manager, SOLVAY Research & Innovation

14h40 - 15h00

Brighter use of resources - New CO₂-based materials.

Christoph GÜRTLER - Head of Catalysis and Technology Incubation - Covestro Deutschland AG

15h00 - 15h20

E-fuels et e-biofuels, une opportunité de valoriser le CO₂ ... mais à quelles conditions ?

François KALAYDJIAN - Directeur Économie et Veille

Jean-Pierre BURZYNSKI - Directeur Centre de Résultat Procédés - IFP Énergies nouvelles

15h20 - 16h00 **Échanges avec la salle**

16h00 - 16h30

Quelles technologies contre le changement climatique ?

Jean-Eudes MONCOMBLE, Secrétaire Général, Conseil Français de l'Énergie (CFE)

Stockage géologique du CO₂ dans les aquifères salins profonds : capacités de stockage en Europe, coûts et contraintes réglementaires.

Didier BONIJOLY

BRGM, Orléans

L'Europe s'est engagée, depuis la COP21, à réduire ses émissions de CO₂ dans l'atmosphère de manière drastique. Elle a récemment publié un document fondateur d'une nouvelle politique qui devrait l'amener à atteindre la neutralité carbone en 2050 (Green Deal Communication).

Parmi toutes les mesures qui permettraient d'atteindre cet objectif, le Captage, Transport, Stockage et l'Utilisation du CO₂ (CCUS) prendrait une place significative car c'est, à ce jour, la seule solution qui permettra à nos industries fortement émettrices de CO₂ de limiter leur impact sur le climat (sidérurgie, cimenterie, raffinage, ...).

L'Europe a émis environ 4 Gt de CO₂ en 2017. Pour atteindre la neutralité carbone, et selon un scénario produit par la Commission européenne, il faudrait donc capter entre 281 et 606 Mt CO₂ et en stocker entre 80 et 298 Mt en 2050.

Cet objectif est-il crédible ? Oui car plusieurs pays européens ont intégré cette solution technologique dans leurs plans nationaux Énergie-Climat. La France propose de mobiliser le CCS dans sa stratégie nationale bas carbone dès 2030 afin de capter et stocker 16 Mt CO₂ en 2050.

Le stockage est une solution mature mais à quel coût ? Pour le stockage, le coût devrait se situer entre 5 à 20 €/t.

Quels sont alors les freins pour un déploiement du CCS et plus particulièrement du stockage en Europe. Ce sont pour l'essentiel des freins économiques et réglementaires (Directive ETS, directive sur le stockage, protocole de Londres).

Enfin, les capacités de stockage seront-elles suffisantes ? En Europe, les capacités de stockage à terre et en mer sont de l'ordre de 130 à 300 Gt. Comparé aux besoins de stockage (300 Mt en 2050), ces volumes sont très largement suffisants.

Quant au soutien des citoyens à la mise en œuvre de cette technologie, les expériences précédentes auront démontré la nécessité de travailler en amont sur une gouvernance élargie du stockage du CO₂.

En conclusion, le stockage de CO₂ constitue le dernier maillon de la chaîne de valeur du CCS. C'est une solution technologique mature qui repose sur un secteur industriel solide et compétent mais sa mise en œuvre rencontre de véritables barrières pour un déploiement à grande échelle.

Mots Clés : Stockage de CO₂, Réglementation, Coût, Capacité de stockage.



Quelles pistes pour tirer parti de la photosynthèse naturelle ?

Paul COLONNA

Directeur de Recherches émérite - INRAE

L'usage du CO₂ comme ressource de carbone se heurte à deux problèmes, d'une part sa capture et sa concentration et d'autre part son activation et sa transformation de manière sélective en produits d'intérêt. Les plantes, lors de la photosynthèse, ont résolu ce problème par endosymbiose de certaines archées et bactéries. Les réactions de la photosynthèse se réalisent essentiellement dans les chloroplastes. Les chloroplastes végétaux des cellules foliaires, petits organites subcellulaires verts contenant de la chlorophylle, assurent deux processus photosynthétiques majeurs : (1) les réactions lumineuses, qui, après capture de la lumière, génèrent des vecteurs énergétiques (adénosine triphosphate ATP et nicotinamide dinucléotide phosphate réduit NADPH), et (2) les réactions métaboliques, qui utilisent ces molécules pour métaboliser le carbone du dioxyde de carbone, le CO₂, après sa fixation par une enzyme spécifique, la ribulose biphosphate carboxylase/oxygénase (rubisco). C'est cette carboxylase qui fait entrer le carbone dans la production de la majorité des molécules organiques de la Planète.

Ce mécanisme continue à faire l'objet de nombreuses recherches pour améliorer son efficacité au niveau de la fixation du CO₂, de l'augmentation de l'activité catalytique, de la réduction de la photorespiration et le recours à des microalgues.

Schwander T. et al. (2016) ont substitué la rubisco par une enzyme bactérienne qui fonctionne 10 fois plus vite. Ils ont ainsi créé une voie de carboxylation nouvelle (cycle CETCH), du nom de la chaîne d'enzymes qui la compose : crotonyle-CoA/éthylmalonyle-CoA/hydroxybutyryle-CoA.

Au-delà du chloroplaste, les consortia microbiens et la biologie de synthèse apportent deux dynamiques originales, élargissant l'usage du CO₂ par des voies biologiques.

Tobias Erb, Tarryn Miller et JC Baret ont su associer des membranes photosynthétiques d'épinards et les enzymes du cycle CETCH par microfluidique.

Ce développement de projets biomimétiques permet déjà une analyse fine du fonctionnement de ces microgoutelettes. À terme il conduira à combiner la simplicité des réactions par utilisation des électrons pour réduire du CO₂ et ouvrir sur de nouvelles molécules, le système global gagnant en complexité.

Les opérations intégrées de captage, stockage et valorisation du CO₂ en cours et en projet en Europe.

Isabelle CZERNICHOWSKI-LAURIOL

BRGM, Orléans

L'Europe s'est lancée dans les recherches sur le captage et le stockage de CO₂ en 1993, avec le premier projet de recherche 'The underground disposal of carbon dioxide', auquel le BRGM a participé, financé par le 3^{ème} cadre de recherche et développement (3^{ème} PCRD). Depuis, seulement deux projets de taille industrielle sont en opération : Sleipner depuis 1996 et Snohvit depuis 2008, tous les deux en Norvège. Le CO₂ capté provient du traitement du gaz naturel et est stocké en aquifère salin profond sous la mer du Nord, ce qui permet de s'affranchir de la taxe carbone en vigueur dans ce pays. Ailleurs en Europe, faute de modèle économique et de politiques climatiques fortes, plusieurs autres projets en gestation n'ont pas pu voir le jour.

Mais la COP21 et l'accord de Paris sur le climat en 2015 ont été le point de départ d'une prise de conscience généralisée de la réalité du réchauffement climatique, puis de l'urgence à agir. Avec les nouveaux objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050 en Europe et en France, les technologies de captage, stockage et valorisation du CO₂ semblent incontournables pour réduire les émissions incompressibles de CO₂. On assiste de fait à un regain d'intérêt sur ces technologies, avec de nouveaux projets industriels en préparation, centrés essentiellement sur des stockages offshore en mer du Nord. Ils prévoient de capter le CO₂ de divers types d'industries (ciment, acier, traitement de déchets, raffineries, centrales thermiques, ...) au niveau de clusters industriels, de le transporter vers un grand port proche (Oslo, Rotterdam, Amsterdam, Anvers, Dunkerque, Teeside...) pour l'acheminer jusqu'à un lieu de stockage.

Sur le reste du continent d'autres schémas sont à l'étude. Les projets de recherche européens ENOS et STRATEGY CCUS coordonnés par le BRGM (8^{ème} PCRD) étudient, l'un les conditions pour des stockages onshore sur le continent, l'autre des scénarios de déploiement possibles dans 8 régions du Sud et de l'Est de l'Europe, dont la vallée du Rhône et le Bassin parisien pour la France. En région Centre-Val de Loire, le BRGM étudie la faisabilité de schémas locaux alliant utilisation de CO₂ dans les serres horticoles, stockage de CO₂ et géothermie (projets CO₂SERRE et GEOCO₂).

L'infrastructure de recherche européenne ECCSEL sur le captage, transport, stockage et utilisation du CO₂ met à disposition des chercheurs et ingénieurs des plateformes de recherche de pointe pour leur permettre de développer et tester de nouveaux outils, procédés et méthodes innovantes. La France en est membre, ainsi que l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la Norvège, qui en héberge le siège à Trondheim.

Mots Clés : Puits de carbone, Stockage géologique, Climat, CCS, CSCV.



Brighter use of resources - New CO₂-based materials.

Christoph GÜRTLER

Covestro Deutschland AG, Leverkusen, Germany

People are becoming more and more aware that carbon dioxide is much too valuable to just be released into the atmosphere, and thus worsen the greenhouse effect. This is because the gas contains carbon, an important element needed for the production of plastics. This means petroleum, a traditional source of carbon, can be replaced at least in part. Covestro wants to exploit this possibility and has become a pioneer of using CO₂.

Covestro currently focuses on using carbon dioxide to produce polyols, a crucial component of polyurethane foam. The new material was launched in 2016. The first target product: Mattresses based on CO₂. A dedicated demonstration plant was built for this purpose.

Since then, further CO₂ based polyether polyols were developed that found a platform for a broader range of applications. These polyols can also incorporate building blocks which derive from intermediates made from CO₂ (indirect use of CO₂). We have investigated a series of applications and will report on current developments.

Within the new project Carbon4PUR we go one step further and try to valorize flue gases - mixed CO₂/CO streams from steel production - for the use in polyurethane applications.

Mots Clés : CO₂ utilization, Polyurethanes.

CO₂, une nouvelle ressource pour la chimie de demain ?

Dominique HORBEZ^{a,*}, David SAVARY^b

^a Solvay R&I, Aubervilliers

^b Solvay Group Engineering & Construction, Lyon

L'industrie chimique peut contribuer au nouveau « green deal » visant à soutenir l'objectif de neutralité carbone de l'Europe en 2050, notamment par le développement de technologies de captage et de valorisation du CO₂ plus efficaces, par la production d'hydrogène décarboné ou encore par l'électrification accrue de ses procédés¹.

Le groupe Solvay a annoncé récemment son ambition de développement durable « Solvay One Planet » et s'est engagé, s'agissant des impacts climatiques, à aligner sa trajectoire sur les objectifs des accords de Paris de 2015, ce qui se traduit par un nouvel engagement de réduction de 26% des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030.

Ce nouveau pas implique une accélération des efforts sur l'efficacité énergétique des procédés et sur l'intégration des énergies renouvelables, ainsi que le maintien d'une réflexion prospective sur l'utilisation possible du CO₂ dans les procédés.

Pour envisager le CO₂ comme matière première, il faut considérer que le carbone y est à son degré d'oxydation le plus élevé (+IV). L'accès à des molécules en C1 - éventuellement en C2 - pouvant présenter un intérêt en chimie organique, telles l'acide formique, le monoxyde de carbone, le méthanol voire le méthane, implique dans la plupart des cas une réduction, qui peut se faire par voie chimique, électrochimique ou photochimique, et qui nécessite l'apport d'une énergie décarbonée. Le CO₂ peut également être envisagé pour la production directe de carbonates minéraux (minéralisation du CO₂) ou organiques (précurseurs de polymères).

D'une façon générale, il convient de s'assurer du positionnement économique et environnemental des voies utilisant le CO₂ par rapport aux procédés conventionnels actuels et aux autres procédés innovants.

La communication s'appuiera sur quelques exemples internes ou externes pour illustrer les potentialités mais aussi les défis à relever pour pouvoir utiliser durablement le CO₂ comme matière première.

Mots Clés : Utilisation du CO₂, Energie, Evaluation économique et environnementale.

¹ CEFIC, Position paper on Chemical Valorization of CO₂, janvier 2020



E-fuels et e-biofuels, une opportunité de valoriser le CO₂ ... mais à quelles conditions ?

François KALAYDJIAN^a, Jean-Pierre BURZYNSKI^b

^a IFP Energies nouvelles, Rueil-Malmaison

^b IFP Energies nouvelles, Lyon

L'atteinte de la neutralité carbone en 2050 a redonné une actualité aux technologies de captage, stockage et utilisation du CO₂ émis par des sources anthropiques (centrales électriques et unités industrielles). En l'absence de telles technologies, selon l'Agence Internationale de l'Énergie, l'objectif de neutralité carbone ne sera pas atteint ou ne le sera qu'à un coût beaucoup plus élevé.

Si le stockage géologique de CO₂ ouvre des perspectives intéressantes en termes de tonnage de CO₂, son économie, hormis lorsqu'il est associé à des procédés de récupération améliorée du pétrole, demande une valeur au CO₂ d'au moins 100€/t. En revanche la conversion d'un CO₂ en un produit commercialisable au sein duquel il est séquestré, faciliterait l'équilibre économique.

Pourtant, les intérêts économique et climatique d'une telle conversion doivent être questionnés. Le coût de captage, la temporalité de la séquestration, la valeur du produit de transformation, sont autant de facteurs qu'il convient d'analyser sur le cycle de vie du CO₂ pour conclure à la rentabilité d'une telle utilisation.

La perspective d'une mise à disposition d'hydrogène non carboné et la capacité de le combiner à un CO₂ capté offre des opportunités de transformer le CO₂ capté en un e-fuel, issu de la mise en œuvre par exemple d'un procédé de type Fischer-Tropsch. Si ce CO₂ est capté à partir d'une source biomasse, il est alors possible de produire un e-biofuel, forme de biocarburant avancé. Pour ce faire, des solutions technologiques existent déjà, telle la technologie BioTfuel, développée par IFPEN et commercialisée par sa filiale AXENS. La compétitivité économique d'une telle conversion en e-biofuel dépend de plusieurs facteurs comme le coût de production de l'électricité, le coût de production de l'hydrogène électrolytique.

Ces aspects discutés dans la présentation montrent que l'intérêt des procédés de valorisation du CO₂ doivent être évalués à partir d'analyses de nature technico-économique mais également de cycle de vie. La conversion du CO₂ en e-biofuel présente l'intérêt de pouvoir associer un CO₂ ex biomasse à un hydrogène vert. Des solutions sont prêtes à être déployées, notamment à partir des technologies développées par IFPEN, pour réaliser une telle conversion sous réserve que des conditions de succès soient remplies.

Mots Clés : Utilisation de CO₂, E-fuel, E-biofuel, Biocarburant avancé, ACV.

Entre captage et stockage, comment transporter le CO₂ par bateau ?

Clément MERAT^{a*}, Jed BELGAROUÏ^a, David NEVICATO^b

^a Total E&P Norway, Stavanger, Norvège

^b Total, Paris, France

Le captage et le stockage du carbone (CCS) est défini comme un système de technologies qui intègre trois étapes : le captage, le transport et le stockage géologique du CO₂. Dans les projets CCS existant, le transport du CO₂ se fait généralement par pipelines (le transport par camion ou train étant réservé à des volumes limités). Toutefois, bien que le concept n'ait pas été entièrement adopté par l'industrie à ce jour, il est également possible de transporter le CO₂ par bateau.

Le transport de CO₂ par pipeline est lui prouvé depuis des décennies, notamment aux USA avec plus de 6000km de pipeline CO₂ en opération. Le transport maritime de CO₂ est quant à lui moins mature et actuellement seulement 5 navires au monde transportent de petits volumes de CO₂ (capacité des navires environ 1500m³) pour l'industrie agroalimentaire.

Une fois capté, le CO₂ doit être liquéfié afin de pouvoir le transporter de manière efficace. A la sortie de l'usine de liquéfaction, le CO₂ liquide est stocké dans des réservoirs de stockage temporaires. De ces réservoirs, il est chargé sur des navires de transport dédiés via un système de chargement (bras de chargement ou flexibles), puis transporté jusqu'à sa destination. Dans le cas d'un transport maritime de port à port, le CO₂ est déchargé dans un terminal à terre dans des réservoirs de stockage temporaires. Il est ensuite pompé et chauffé puis transporté par pipeline vers un site de stockage géologique. Une autre option envisagée est de transporter le CO₂ directement vers le site de stockage si celui-ci se situe offshore. Le déchargement peut ainsi se faire directement en connectant le bateau aux puits d'injection ou indirectement en déchargeant sur une unité de stockage intermédiaire avant injection.

Plusieurs facteurs clés rendent le transport maritime du CO₂ attrayant. Tout d'abord, l'investissement initial (CAPEX) nécessaire au transport est souvent (suivant les distances et volumes) moins coûteux que la construction d'un pipeline. Deuxièmement, le transport maritime est une solution de transport incrémentale qui offre plus de flexibilité géographique et temporelle par rapport à un pipeline dimensionné pour un débit et une route fixe. Troisièmement, la construction navale peut être adaptée à la demande du client et ne nécessite pas de longs délais, ce qui peut aider à accélérer le développement d'un projet CCS.

Bien que prometteur, le transport maritime de CO₂ n'est pas encore déployé à échelle industrielle et doit être optimisé. Un des sujets de travail concerne le volume de cargaison transportable par bateau qui doit être augmenté afin de réduire les coûts de transport et diminuer l'impact environnemental des navires en en réduisant leur nombre.

Mots Clés : CO₂, CCS, Transport, Bateau, Navire, Liquéfaction.



Les émissions de CO₂ et la neutralité carbone.

David NEVICATO

Total S.E., Total@Saclay - Direction R&D Groupe

Limiter le réchauffement climatique en dessous de 2 degrés, nécessite d'atteindre la neutralité carbone dans la deuxième partie de ce siècle selon la plupart des scénarios du GIEC² ou de l'Agence Internationale de l'Energie³. Comment y arriver ?

Tout d'abord réduire les émissions de CO₂ liées à l'activité humaine (anthropogénique), par le développement des énergies bas carbone et renouvelables, par l'amélioration de l'efficacité énergétique et aussi par le déploiement du captage et stockage géologique de CO₂ pour les émissions de CO₂ difficiles à éliminer.

Cela ne sera pas suffisant car il subsistera certaines émissions de CO₂ ou d'autres gaz à effet de serre. Et donc atteindre la neutralité carbone demandera de capter ces gaz à effet de serre, ce CO₂ dans l'atmosphère pour le stocker dans le sol et le sous-sol ; et ainsi ramener le carbone d'où il vient. La neutralité carbone est l'équilibre entre les émissions et les absorptions de CO₂ à l'échelle de la planète. Comment traduire cette ambition de neutralité carbone dans une stratégie d'entreprise ou une stratégie d'un état ou de la planète ? Nous prendrons l'exemple de Total et d'autres entreprises qui ont précisé récemment leur ambition d'atteindre la neutralité carbone pour la plupart d'ici 2050 et aussi d'autres avant 2050. Les entreprises ont la maîtrise des émissions liées à leurs activités et peuvent aussi s'engager à contribuer à la baisse des émissions de CO₂ et de gaz à effet de serre de leurs clients. Cela est d'autant plus réalisable que les politiques publiques affichent aussi cette ambition de neutralité carbone.

Quelles solutions pour atteindre la neutralité carbone et surtout pour équilibrer les émissions résiduelles ? De plus en plus d'initiatives mise sur les solutions d'émissions négatives qu'elles soit naturelles (l'afforestation, le reboisement, l'agriculture régénérative et les zones humides, la séquestration du carbone dans le sol) ou technologiques (la bioénergie associée au captage et stockage du CO₂ et la capture atmosphérique directe).

Mots Clés : Neutralité carbone, Émissions négatives, CO₂ anthropogénique.

² IPCC Special Report « Global Warming of 1.5 °C », Oct 2018

³ AIE "Special Report on Clean Energy Innovation", ETP 2020

Captage direct du CO₂ de l'air... Vraiment ?

Régis REAU

Directeur Scientifique R&D, Air Liquide, Innovation Campus Paris, Les loges en Josas

L'augmentation continue des températures de la planète, attribuée avec une extrême probabilité aux émissions anthropogéniques de gaz à effet de serre, a conduit tous les segments de l'industrie à développer des solutions innovantes afin de réduire leurs émissions de CO₂. L'une des technologies les plus matures est la capture du CO₂ de flux riches provenant par exemple de l'oxycombustion de fuels fossiles ou de procédés chimiques (reformage du méthane à la vapeur, synthèse de l'ammoniaque...). Cette approche, associée au stockage ou à l'utilisation du CO₂ dans des procédés industriels, permet de séquestrer du carbone pour des durées variables.

Très récemment, la capture directe du CO₂ de l'air est apparue comme une approche innovante afin de réduire la concentration atmosphérique du CO₂ et de pouvoir disposer de cette molécule de manière très délocalisée, ce qui peut permettre de multiplier les points d'usages (production de biomasse dans des serres, carbonatation minérale...). Cette approche, qui est incluse dans le rapport annuel du GIEC depuis 2013, pose de nombreuses questions : comment capturer de manière efficace le CO₂ dans un flux très peu concentré ? Comment concilier une capture efficace avec un relargage peu énergivore ? Quel sorbant (liquide, solide) pour quel procédé ? Comment intégrer la capture directe dans un procédé pour la rendre économiquement viable ? Dans quelles conditions la capture directe dans l'air permet-elle réellement de réduire la concentration de CO₂ atmosphérique ?

Ces défis ont motivé une recherche académique très dynamique ainsi qu'une activité importante de start-ups dont le but est de mettre rapidement cette technologie sur le marché. Cependant, le futur de cette technologie est encore incertain comme le montrent deux articles publiés récemment dans Nat. Commun., l'un concluant que la capture directe du CO₂ de l'air est une solution viable¹ et l'autre que c'est une solution non réaliste².

Références :

- 1) G. Realmonte, L. Drouet, A. Gamghir, J. Glynn, A. Hawkes, A. C. Köberle, M. Tavoni, Nat. Commun., "An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways", 10, 3277, 2019.
- 2) S. Chatterjee, K.-W. Huang, Nat. Commun., "Unrealistic energy and materials requirement for direct air capture in deep mitigation pathways", 11, 3287, 2020.

Mots Clés : Capture directe, Analyse de cycle de vie, Sorption.



Démonstration du procédé DMX sur le site d'Arcelor Mittal à Dunkerque.

Vania SANTOS-MOREAU^{a,*}, Maxime LACROIX^b, Xavier COURTIAL^c, Bernard PETETIN^d

^aIFP Energies nouvelles, Solaize

^bTOTAL Refining & Chemicals, Harfleur

^cAXENS, Rueil-Malmaison

^dArcelorMittal France, Dunkerque

Le changement climatique et le réchauffement de la planète font partie des problèmes environnementaux majeurs auxquels nos sociétés seront confrontées au cours des prochaines décennies. Parmi les solutions pour réduire les émissions de CO₂, des technologies de Captage et Stockage du CO₂ (CSC ou CCS en anglais) ont été développées, pouvant être utilisées par des émetteurs industriels. Ces technologies sont essentielles pour pouvoir atteindre les objectifs fixés lors de la Conférence sur le Climat de Paris de décembre 2015 (COP21). Ces technologies devront contribuer pour 10 % aux réductions des émissions de CO₂ en 2050 si l'on veut limiter le réchauffement climatique à 2 °C d'ici 2100.

En réponse au besoin de technologies performantes pour le captage de CO₂, IFPEN a développé le procédé DMX™. Cette technologie de captage en postcombustion, qui n'est pas encore commerciale, est basée sur l'absorption de CO₂ par un solvant démixant très capacitif. Cette technologie permet la production d'un CO₂ très pur (99,7%) et en pression (jusqu'à 7 bara).

L'ambition du projet «3D» (DMX Demonstration in Dunkerque) est de valider ce procédé et de le déployer à l'échelle industrielle. Afin d'atteindre cette ambition, le projet 3D a 3 objectifs principaux :

1. Démontrer l'efficacité du procédé DMX™ sur un pilote industriel qui captera 0,5 tCO₂/heure dans des gaz de sidérurgiques d'ici 2022. Ce pilote est en cours de réalisation sur le site d'ArcelorMittal à Dunkerque. Ce sera la dernière étape avant la commercialisation du procédé par Axens.
2. Préparer la mise en place d'une première unité CSC industrielle sur le site d'ArcelorMittal à Dunkerque, opérationnelle après 2025. Plus de 1 MtCO₂ par an seront captées sur gaz de haut fourneau et stockés dans un stockage géologique en mer du Nord. Actuellement, les études de Pre-FEED sont en cours.
3. Explorer le futur Cluster CCS Dunkerque-Mer du Nord opérationnel d'ici 2035 avec plus de 10 MtCO₂ par an captées et stockées en Mer du Nord.

Mots Clés : Captage CO₂, Post- Combustion, CCS.



Maison de la Chimie
28 rue Saint Dominique 75007 PARIS