La capture du carbone, dernier levier de décarbonation... ou prochain avantage compétitif



Quatrième dans l’ordre des priorités de décarbonation, le captage du carbone reste souvent perçu comme une technologie coûteuse, complexe et lointaine. Pourtant, aujourd’hui pour le Luxembourg, le CCUS (*Carbon capture, utilization and storage*) et le CDR (*Carbon dioxide removal*) ne sont pas seulement des outils pour traiter les émissions résiduelles. Ils deviennent une question de compétitivité industrielle, de positionnement régional et de crédibilité financière dans une économie européenne où le prix du carbone, les obligations climatiques et les exigences de traçabilité montent en puissance.

CCUS et CDR, de quoi parle-t-on ?

Derrière ces acronymes techniques et encore méconnus se cache en réalité une ligne de partage essentielle entre deux logiques : empêcher des émissions industrielles d'atteindre l'atmosphère, ou retirer du CO? déjà présent dans l'air pour compenser les émissions les plus difficiles à éliminer. Le CCUS consiste à capter du CO? à la sortie d'installations industrielles ou énergétiques, puis à l'utiliser dans un procédé ou à le stocker durablement. Le CDR vise, lui, à retirer du CO? directement de l'atmosphère et à le stocker de façon durable. Pour distinguer correctement ces approches, les experts se réfèrent à trois critères : l'origine du CO?, la durée du stockage et le fait qu'on évite une émission ou qu'on retire effectivement du carbone de l'atmosphère. Ces distinctions déterminent ensuite la comptabilisation climatique, la certification et la valeur économique des projets.

Un levier de dernier recours, mais un levier indispensable

Le cadre luxembourgeois est clair : pour l'industrie, la décarbonation suit d'abord la logique efficacité énergétique, puis électrification renouvelable directe, puis hydrogène renouvelable, et seulement ensuite captage, utilisation et stockage du CO? inévitable. Cette hiérarchie rejoint les réserves exprimées par certaines associations et think tanks, pour qui la capture carbone doit rester un dernier recours, sans se substituer à la réduction de la demande ni à l'électrification renouvelable. **Mais dernier recours ne veut pas dire détail**.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) rappelle que la trajectoire vers le net zéro implique un recours accru au CCUS et aux technologies de retrait du CO? pour revenir sous la barre du 1,5 °C de réchauffement climatique d'ici la fin du siècle. L'ampleur du défi reste considérable : l'AIE estime qu'environ 1 milliard de tonnes de CO? devraient être captées et stockées dès 2030 dans une trajectoire compatible avec le net zéro, alors que les capacités annoncées restent encore très en dessous de ce niveau. Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a récemment lancé les travaux de son futur rapport méthodologique sur le CDR et le CCUS , qui doit fournir aux États une base plus cohérente pour estimer, déclarer et comparer les émissions et absorptions associées à ces technologies.

« Le CCUS n'est pas un vernis écologique pour les industriels, ni un moyen de contourner les efforts de réduction d'émissions de CO? à la source. C'est le levier pour aller chercher les derniers pourcents dans certains secteurs cruciaux, difficilement décarbonables, alors que les règles du SEQE (Système d'échange de quotas d'émissions) se durcissent et que les chaînes de valeur se verdissent »

Au Luxembourg, ces émissions résiduelles ne sont pas théoriques. Le potentiel théorique de captage dans le cadre final d'action pour le déploiement des technologies CCUS et CDR publié en

décembre 2025 a été réhaussé. Il est estimé entre 1,9 et 2,7 millions de tonnes (Mt) de CO? par an d'ici à 2050 où le potentiel théorique d'émissions négatives liées aux flux biogéniques, c'est-à-dire au CO? issu de matières organiques comme la biomasse, le bois, les déchets ou le biogaz, constituerait entre 0,7 et 1,6 million de tonnes par an. En 2023, les émissions de l'industrie, énergie et construction hors SEQE et SEQE cumulés représentaient 1,3 Mt de CO?. Le CCUS n'est pas un vernis écologique pour les industriels, ni un moyen de contourner les efforts de réduction d'émissions de CO? à la source. C'est **le levier** pour aller chercher les derniers pourcents dans certains secteurs cruciaux, difficilement décarbonables, alors que les règles du SEQE (Système d'échange de quotas d'émissions) se durcissent et que les chaînes de valeur se verdissent.

Dans l'industrie du béton, la production de ciment génère des émissions de procédé structurelles que ni l'électrification, ni l'hydrogène ne pourraient éliminer. Le cadre final cible donc en priorité le ciment, l'incinération des déchets, les grandes installations à bioénergie et, désormais, l'industrie du verre, où le captage apparaît le plus logique. Un élément est déterminant : plus la concentration de CO? dans les fumées est élevée, plus le captage est techniquement simple et potentiellement moins coûteux. Or les fumées du ciment contiennent typiquement 14 à 33% de CO?, 7 à 12% pour le verre. D'où, à l'autre extrémité du spectre, la difficulté de rendre rentable la capture directe du carbone dans l'air, tant il est énergivore d'extraire un gaz présent à seulement 0,04% dans l'atmosphère.

Au-delà du stockage géologique, qui reste la destination dominante du CO? à long terme dans les scénarios européens, le cadre final luxembourgeois a aussi retenu une logique d'innovation autour de l'utilisation du CO?, en citant notamment les carburants synthétiques pour l'aviation, certaines applications chimiques et des projets pilotes dans la construction. Le fait de rapprocher davantage l'industrie, l'université et la recherche appliquée pour faire émerger des *spin-off*, des démonstrateurs et, à terme, de véritables champions technologiques au Luxembourg est à cet égard l'un des aspects les plus prometteurs du cadre adopté.

Le marché seul ne suffira pas

Une donnée résume le problème économique : dans de nombreux cas, le coût du captage d'une tonne de CO? reste supérieur au prix d'un quota carbone. Pour rappel, dans le cadre du SEQE-EU ou « ETS », une entreprise couverte doit restituer chaque année un nombre de quotas correspondant à ses émissions, chaque quota autorisant l'émission d'une tonne de CO? équivalent ; si elle réduit ses émissions, elle peut acheter moins de quotas ou revendre ceux qu'elle n'utilise pas, ce qui donne un signal économique direct au coût du carbone.

Tant que cet écart subsiste, le signal-prix du carbone ne suffit pas à déclencher les investissements. C'est exactement la raison pour laquelle nos voisins européens ont créé des

instruments de soutien spécifiques. Aux Pays-Bas, le mécanisme SDE++ couvre la part non rentable des projets de réduction du CO?. L'Allemagne, après avoir expérimenté en 2024 les « Carbon contracts for difference » (CCfD) avec 2.8 milliards octroyés au secteur industriel au sens large, a renouvelé le mécanisme l'année suivante avec 6 milliards d'euros en rendant explicitement les technologies CCS et CCU éligibles.

Cela signifie que la vraie question n'est plus seulement « faut-il du CCUS ? », mais « comment rendre les projets finançables et rapides à déployer ? ». Là-dessus, les voisins ont déjà plusieurs longueurs d'avance. Porthos, à Rotterdam, développe une infrastructure mutualisée de transport et de stockage de CO? calibrée pour 2,5 Mt par an pendant quinze ans. La Belgique, de son côté, vise 30 Mt par an de capacité de transport de CO? à l'horizon 2030. Les travaux du JRC sur les réseaux de transport de CO? suggèrent qu'en Europe, la phase initiale reposera d'abord sur des réseaux locaux ou régionaux, avant une interconnexion croissante après 2030 ; pour le Luxembourg, l'enjeu est donc moins de bâtir seul un réseau autonome que de sécuriser son accès aux futurs corridors régionaux.

La stratégie luxembourgeoise la plus crédible

La stratégie la plus robuste pour le Luxembourg repose alors sur trois idées simples. La première consiste à prioriser les flux les plus évidents, avec les cimenteries en tête. La deuxième à agréger les volumes pour approcher une masse critique, les études en cours devant encore préciser le mode de transport le plus adéquat vers les futurs points de stockage. La troisième à miser sur le transfrontalier. Plusieurs options restent ouvertes, mais les Pays-Bas semblent jusqu'ici cocher le plus de cases en matière de distance, d'infrastructures et de maturité des projets de stockage, sans qu'aucune destination n'ait encore été formellement arrêtée par les autorités. Dans le même temps, le stockage géologique reste interdit au Luxembourg, et la question du signal que cela renvoie aux acteurs extérieurs du CCUS/CDR semble encore faire l'objet d'une réflexion au sein des autorités. Au-delà du CCUS, le CDR pourrait trouver au Luxembourg des points d'appui plus ponctuels dans certains flux biogéniques, notamment via la bioénergie avec captage et stockage du carbone, par exemple à partir de la filière biogaz.

La vraie carte luxembourgeoise : la finance et la conformité

C'est probablement ici que le Luxembourg peut le mieux se différencier. Selon l'Agence internationale de l'énergie, le marché du CCUS pourrait atteindre 35 à 50 milliards de dollars d'ici 2030, et dépasserait 150 milliards de dollars par an à l'horizon 2050. Pour une place comme Luxembourg, l'enjeu n'est pas seulement de financer davantage de projets, mais de se positionner là où se crée la confiance : structuration de fonds, dette durable, préfinancement, traçabilité,

certification, monitoring, reporting et vérification. La base existe déjà : le Luxembourg occupe une place centrale dans la finance durable mondiale via sa *Luxembourg Green Exchange*, qui regroupe des milliers d'obligations et de titres durables, pour environ 1.300 milliards d'euros émis au total.

Cette dimension financière n'a de sens que si elle reste indissociable d'une exigence de crédibilité. Dans le CCUS comme dans le CDR, la valeur repose sur la démonstration de l'additionalité, de la permanence du stockage, de l'absence de double comptage et du suivi effectif du CO? capté jusqu'à sa destination finale. C'est aussi ce qui permet à la place financière de se protéger contre le greenwashing. L'arrivée récente des bureaux européens de RepAir Carbon, une start?up spécialisée dans les technologies de capture directe du CO? et de solutions de captage innovantes au Luxembourg, va d'ailleurs dans ce sens : le pays commence à être perçu comme un point d'entrée utile pour la diffusion des technologies, les investisseurs et les services qui entourent la gestion industrielle du carbone. Les résultats de l'étude annoncée dans le cadre final et attendus lors de la prochaine taskforce CCUS/CDR devraient permettre de préciser davantage ces opportunités pour la place financière luxembourgeoise.