

Les méthodes de Direct Air Capture (DAC)

A large industrial facility for Direct Air Capture (DAC) is shown in the background. It features several tall, silver, cylindrical storage tanks connected by a network of pipes and valves. The facility is set against a sky with soft, orange-tinted clouds, suggesting a sunset or sunrise. A large, white, diagonal geometric shape is overlaid on the image, partially obscuring the facility and the text.

*Un besoin de plus en plus reconnu,
qui fait face à des verrous
énergétiques et économiques*

Les méthodes de Direct Air Capture (DAC) : un besoin de plus en plus reconnu, qui fait face à des verrous économiques et énergétiques

L'ensemble des pays de la planète partage le même objectif : la réduction drastique des émissions de CO₂ et l'élimination durable du CO₂ présent dans l'atmosphère. Avec des capacités de capture des puits de carbone naturels revues à la baisse, les technologies de captage direct de l'air associées au stockage (DACCS) attirent un intérêt croissant.

L'importance croissante des méthodes d'élimination du carbone dans les stratégies de décarbonation

Pour lutter contre le réchauffement climatique, le GIEC recommande l'activation simultanée de trois grands piliers d'actions :

- La **réduction des émissions de CO₂**, via une transformation des activités économiques ;
- L'**adaptation**, à travers des actions permettant d'adapter nos sociétés aux conséquences du changement climatique ;
- L'**élimination du dioxyde de carbone**, en retirant activement le CO₂ de l'atmosphère et en le stockant de manière durable.

Si la **réduction des émissions demeure prioritaire**, elle peut notamment être complétée par les actions de la figure suivante.

Actions d'éliminations du dioxyde de carbone au potentiel élevé, fonctionnant comme « puits de carbone »

Méthodes fondées sur la nature		Méthodes technologiques			Méthodes hybrides		
Afforestation et reforestation Terrestre Restauration de forêts existantes et en plantation de nouvelles, pour absorber le CO₂ par photosynthèse Permanence 10-1 000 ans TRL 8-9 Potentiel d'élimination Elevé	DACCS Terrestre Capture du CO₂ directement dans l'atmosphère, pour un stockage sous terre ou une utilisation dans des produits durables Permanence >10 000 ans TRL 5-7 Potentiel d'élimination Elevé	BECCS Terrestre Production d'énergie ou de méthane à partir de biomasse et capture et stockage du CO₂ ou utilisation dans des produits durables Permanence >10 000 ans TRL 6-8 Potentiel d'élimination Elevé	Elimination directe des océans Océanique Elimination du carbone dans l'océan par technologie membranaire ou électrodialyse Permanence >10 000 ans TRL 4-6 Potentiel d'élimination Elevé	Enhanced Rock Weathering (ERW) Terrestre Dispersion de roches silicatées finement broyées pour une réaction chimique avec le CO₂ et la formation de minéraux stables Permanence >10 000 ans TRL 6-8 Potentiel d'élimination Elevé	Enfouissement d'algues Océanique Processus faisant couler la biomasse marine dans l'océan pour la séquestration du CO₂ Permanence 100-10 000 ans TRL 5-6 Potentiel d'élimination Elevé	Amélioration de l'alcalinité des océans et des rivières Océanique Ajout de minéraux aux eaux océaniques pour l'augmentation de l'alcalinité et l'amélioration de l'absorption du carbone Permanence >10 000 ans TRL 3-5 Potentiel d'élimination Elevé	Fertilisation des océans Océanique Ajout de nutriments aux océans pour la stimulation de la croissance du phytoplancton, absorbant le CO₂ par photosynthèse Permanence 100-10 000 ans TRL 3-5 Potentiel d'élimination Elevé

Sources : Sia depuis « Elimination du dioxyde de carbone - Atteindre le potentiel français », AFEN, 2025

Parmi ces méthodes d'élimination du carbone se trouvent les systèmes de **Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)**. Ces procédés séparent le CO₂ de l'air et

génèrent du dioxyde de carbone à haute concentration, pouvant être stocké sur des temporalités très longues (plusieurs siècles).

Les solutions de DACCS apparaissent comme un moyen de retrait « permanent » de CO₂, dans les trajectoires Net Zéro, permettant de compenser les émissions résiduelles difficiles à éliminer.

Dans l'objectif d'atteindre la neutralité carbone, la France a mentionné dans le cadre de sa troisième **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)**, la nécessité de recourir à des puits de carbone (naturels et technologiques).

Le potentiel des méthodes fondées sur la nature ayant été revu à la baisse, en raison notamment des effets du changement climatique sur les surfaces boisées (sécheresse, feux de forêts, etc.), il doit être compensé via d'autres solutions, dont les procédés industriels de captage et de stockage direct du CO₂ dans l'atmosphère. Le potentiel ainsi retenu pour le DACCS est estimé à **6 MtCO₂/an à 2050**, se référant au scénario central de la stratégie française CCUS sortie en juillet 2024.

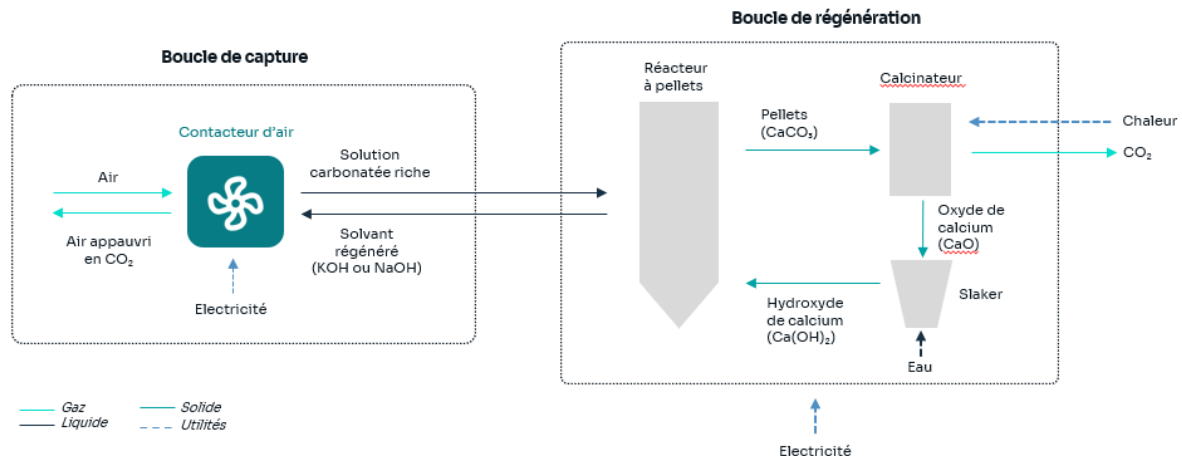
Les procédés DAC peuvent se regrouper en 4 grandes familles mais seules 2 sont aujourd'hui vraiment matures (L et S-DACCS)

- Les technologies de L-DAC (Liquid Direct Air Capture)

Ce procédé consiste à faire circuler l'air dans un contacteur, dans lequel le CO₂ est capté par un solvant liquide. Ce dernier est ensuite régénéré, par montée en chaleur, afin de libérer le CO₂, sous forme concentrée.

Les solvants à base d'hydroxydes de sodium ou de potassium constituent aujourd'hui l'option la plus mature (TRL 8-9).

Schéma du processus de capture du CO₂ via un système de L-DAC



Sources : Sia depuis « The role of Direct Air Capture technologies in the EU's decarbonisation effort, An analysis of the potential, cost-effectiveness, risks, investment needs as well as technological, economic, administrative and legal prerequisites and requirements. » European Parliament, 2025.

Les avantages et limites du L-DAC sont listés dans la matrice suivante.

Matrice SWOT pour les procédés de L-DAC

Forces	Faiblesses
- Technologie parmi les plus matures (solvant à base d'hydroxyde). - Déploiement industriel en cours, notamment avec le projet STRATOS des entreprises Carbon Engineering et 1PointFive. - Recours à des équipements et intrants déjà bien connus industriellement (contacteur, calcinateur, etc.). - Solvants hydroxydes peu volatils, faiblement toxiques et largement utilisés. Procédé fonctionnant en boucle continue et adapté aux grandes capacités. - Production d'un flux de CO₂ très concentré (>97%).	- Besoin de régénération à haute température (900°C). - Processus très énergivore. - Procédé complexe, avec plusieurs étapes unitaires. Absence de possibilités de couplages énergétiques. - Forte dépendance à une énergie abondante, bas-carbone et compétitive. - Différents flux de matériaux nécessaires et plusieurs unités opérationnelles. Large surface d'implantation nécessaire. Besoin important de ressource en eau, en raison des pertes par évaporation dans le contacteur d'air. - Sensibilité aux conditions climatiques (température, humidité). - Solvants émergents encore trop peu mature et avec des limites de fonctionnement. Coûts très élevés.
Opportunités	Menaces
- Potentielle électrification et décarbonation de la calcination (calcinateurs électriques, alimentés au biométhane ou à l'hydrogène). Développement de voie de régénération électrochimiques. - Réduction attendue des coûts grâce à l'industrialisation et à l'apprentissage. - Potentiel d'économie d'échelle plus important que pour le S-DAC. - Recherches en cours pour des solvants alternatifs. - Intégration possible dans des hubs industriels et CO₂. - Atout dans des pays à électricité peu carbonée, comme la France. - Possibilité de réaliser du co-DACCS (hybridation avec du captage en post-combustion).	Sources de chaleur limitées pour atteindre les 900°C nécessaires à la régénération. Bilan climatique dégradé en cas d'approvisionnement énergétique insuffisamment décarboné. - Contraintes systémiques : énergie bas-carbone et peu chère, infrastructures de transport et stockage, disponibilité de terrains, régulations. Forte sensibilité aux coûts de l'énergie. Tensions possibles sur la ressource en eau. - Incertitudes réglementaires et économiques. - Risques d'acceptabilité locale.

Sources : Analyse Sia

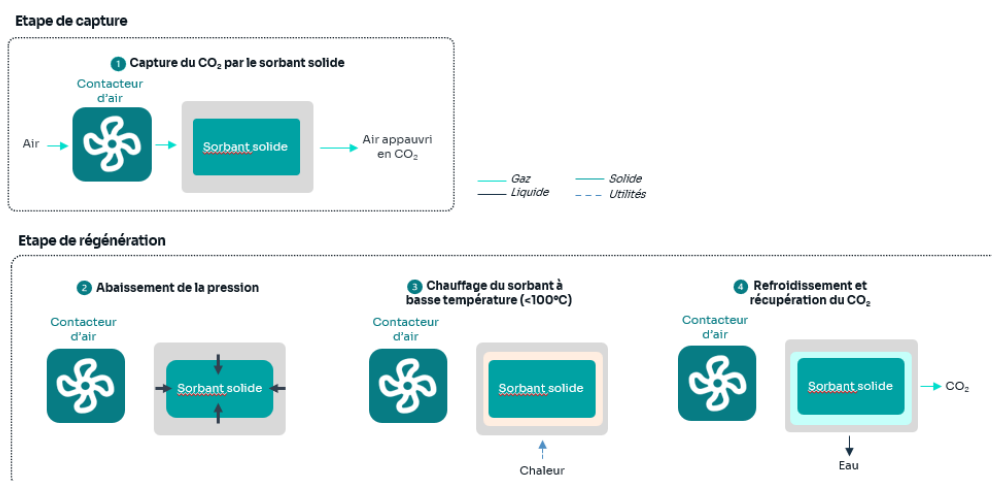
• Les technologies de S-DAC (Solid Direct Air Capture)

Lors de la phase de capture de ce procédé, l'air traverse un contacteur dans lequel le CO₂ est adsorbé sur un sorbant solide poreux. Une fois le matériau saturé, une phase de régénération est engagée par chauffage, le plus souvent couplé à une baisse de pression, afin de désorber le CO₂.

Les sorbants poreux fonctionnalisés par des amines sont les plus utilisés à l'heure actuelle, et représentent l'option la plus mature (TRL 7-8).

Actions d'éliminations du dioxyde de carbone au potentiel élevé, fonctionnant comme « puits de carbone »

Schéma du processus de capture du CO₂ via un système de S-DAC



Sources : Sia depuis « Comparative review of Direct air capture technologies : From technical, commercial, economic, and environmental aspects. », Bouaboula et al., 2024

Les avantages et limites du S-DAC sont listés dans la matrice suivante.

Matrice SWOT pour les procédés de S-DAC

Forces	Faiblesses
- Technologie parmi les plus matures (sorbant poreux). - Retours d'expérience opérationnels déjà disponibles, notamment avec les installations de l'entreprise Climeworks. - Simplicité du processus, notamment comparé aux technologies de L-DAC. - Possibilité de déployer de petites unités modulaires. - Mis à part pour les sorbants, pas d'apport ou de remplacement de matériel important. Régénération à basse température (<100°C) et sources de chaleur diverses possibles. Besoins en eau limités par rapport au L-DAC. - Production d'un flux de CO₂ très pur, généralement >99%.	- Sorbants solides coûteux et complexes à fabriquer. Dégradation des sorbants avec le temps et remplacements fréquents nécessaires. - Risque d'émissions de produits de dégradation potentiellement nocifs. - Défis des pertes de charge dans les contacteurs. - Processus très énergivore. - Sensibilité aux conditions climatiques (température, humidité) - Contraintes systémiques : énergie bas-carbone et peu chère, infrastructures de transport et stockage, disponibilité de terrains, réglementations. Coûts très élevés.
Opportunités	Menaces
Déploiement décentralisé ou distribué possible grâce à la modularité. Possibilité de récupérer une partie de l'eau co-captée dans certains procédés. Valorisation possible de chaleur fatale résiduelle pour la régénération. Couplages envisageables avec la géothermie, le nucléaire, les SMR, le solaire ou des systèmes électriques bas-carbone - Selon le couplage envisagé, possibilité d'une intégration à des infrastructures déjà existantes. - Intégration possible dans les bâtiments via les systèmes CVC/HVAC. Potentiel de baisse des coûts via l'apprentissage, la standardisation et la fabrication en série. - Potentiel d'amélioration des sorbants : sélectivité, cinétique, durabilité. - Possibilité de réaliser du co-DACCS (hybridation avec du captage en post-combustion).	Impact du remplacement des sorbants sur la viabilité économique du projet. - Bilan climatique dégradé si l'électricité ou la chaleur ne sont pas suffisamment décarbonées. - Dépendance à une énergie bas-carbone et bon marché pour être performant. Manque de données à long terme sur la dégradation des sorbants, leur durée de vie et leurs impacts environnementaux. - Risques d'acceptabilité locale pour l'implantation d'unités et d'infrastructures associées.

Sources : Analyse Sia

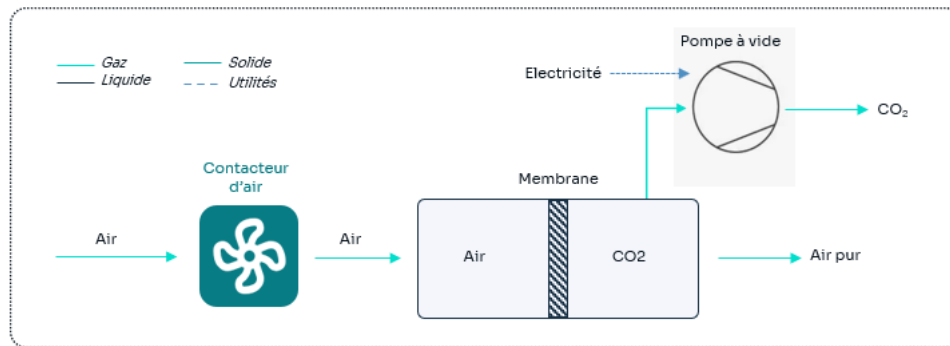
- Les technologies de M-DAC (Membrane Direct Air Capture)

Ce procédé consiste à faire passer l'air à travers une membrane. Ce passage est possible grâce à la création d'une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Cette

dernière étant plus perméable au CO₂, le gaz passe plus rapidement vers le côté perméat et peut ainsi être récupéré.

Ce système est encore peu mature (TRL 1-3), mais fait l'objet de recherches et d'essais de prototypes à petite échelle.

Schéma du processus de capture du CO₂ via un système de M-DAC



Sources : Sia depuis « Comparative review of Direct air capture technologies : From technical, commercial, economic, and environmental aspects. », Bouaboula et al., 2024

L'avantage de ce type de procédé, déjà connu dans d'autres applications de capture du CO₂, est notamment l'absence de régénération thermique, qui représente habituellement un verrou dans les technologies de DAC.

Pour autant, la faible concentration du CO₂ dans l'air rend la séparation membranaire très énergivore, ce qui est aujourd'hui un frein pour ce type d'installation. Il est également préconisé de faire fonctionner le système avec plusieurs étapes de séparation, sans quoi le rendement de récupération du CO₂ reste limité.

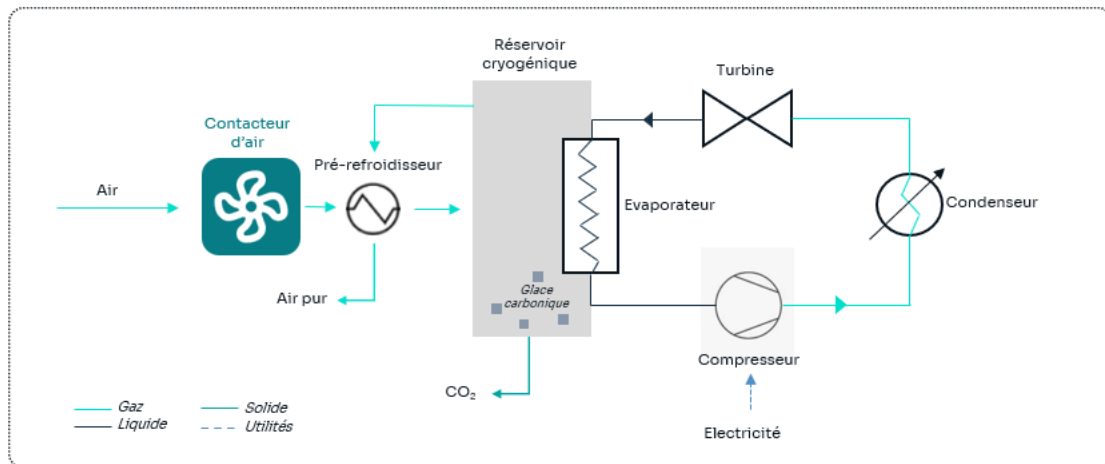
Le peu de retours d'expérience sur ce type de technologies est également un facteur limitant.

- Les technologies de DAC cryogénique

Le DAC cryogénique consiste à retirer le CO₂ de l'air en le refroidissant fortement, sans utiliser de solvant ni de matériau absorbant. Cette méthode s'appuie sur le fait que les gaz de l'air ne changent pas d'état à la même température. Ainsi, en abaissant suffisamment la température, le CO₂ peut être séparé, avant l'azote et l'oxygène.

Des études sont en cours pour ce type de technologie, qui reste cependant encore émergente et peu mature (TRL 4-6), malgré de fortes possibilités de couplage avec l'industrie chimique (via les *Air Separation Unit* notamment).

Schéma du processus de capture du CO₂ via un système de DAC cryogénique



Sources : Sia depuis « Comparative review of Direct air capture technologies : From technical, commercial, economic, and environmental aspects. » Bouaboula et al., 2024

L'avantage principal de ce type de procédé concerne la très forte pureté du CO₂ en sortie (99,99%). Cependant, la nécessité d'atteindre des températures extrêmes a un impact sur le besoin énergétique, qui reste conséquent.

Pour limiter ce phénomène, il est potentiellement possible d'implanter des installations de DAC cryogénique dans des zones très froides, comme en Antarctique, créant donc une forte sensibilité au contexte climatique et géographique.

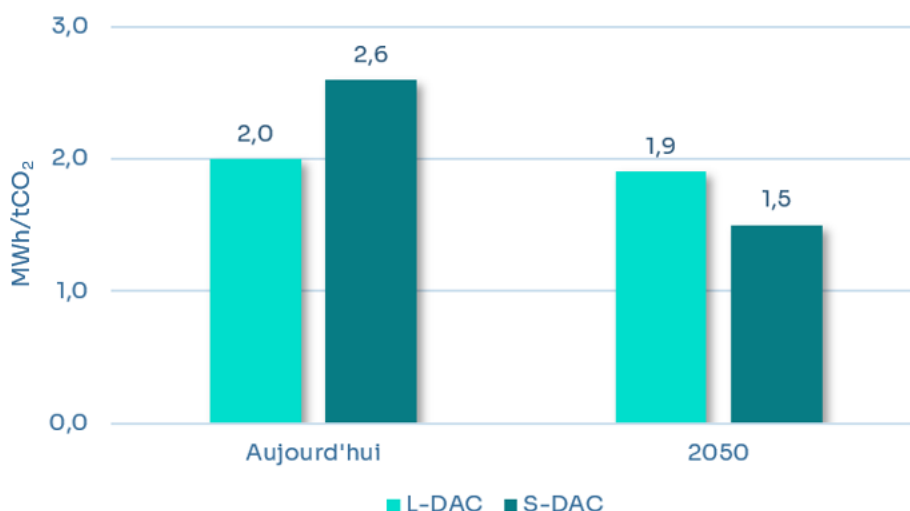
Des technologies innovantes, qui font cependant face à des consommations énergétiques encore élevées

Les estimations de consommation énergétique de systèmes DAC varient grandement selon le processus technologique, la maturité du système ou encore les sources étudiées.

Les consommations issues des procédés **L-DAC** et **S-DAC** sont actuellement les plus documentées.

Après analyse exhaustive des sources documentaires disponibles, Sia a estimé les moyennes de consommations énergétiques pour les technologies actuelles, et les a projetées à l'horizon 2050.

Estimations Sia (2026) des consommations énergétiques actuelles et à l'horizon 2050



Sources : Analyse Sia, depuis *European Parliament* (2025) ; IEA (2023) ; Ozkan, M. (2025) ; Van der Spek et al. (2025) ; Realmonte et al. (2019) ; Fasihi et al. (2019) ; Casaban & Tsalaporta (2023)

Ces baisses de consommations énergétiques s'expliquent par **de potentielles optimisations futures au niveau des procédés** (nouveaux modes de régénération, amélioration du processus de montée en chaleur, optimisation des contacteurs d'air) et **au niveau des matériaux** (amélioration de la sélectivité et de la cinétique, optimisation de la forme des matériaux, nouvelles fonctionnalisations).

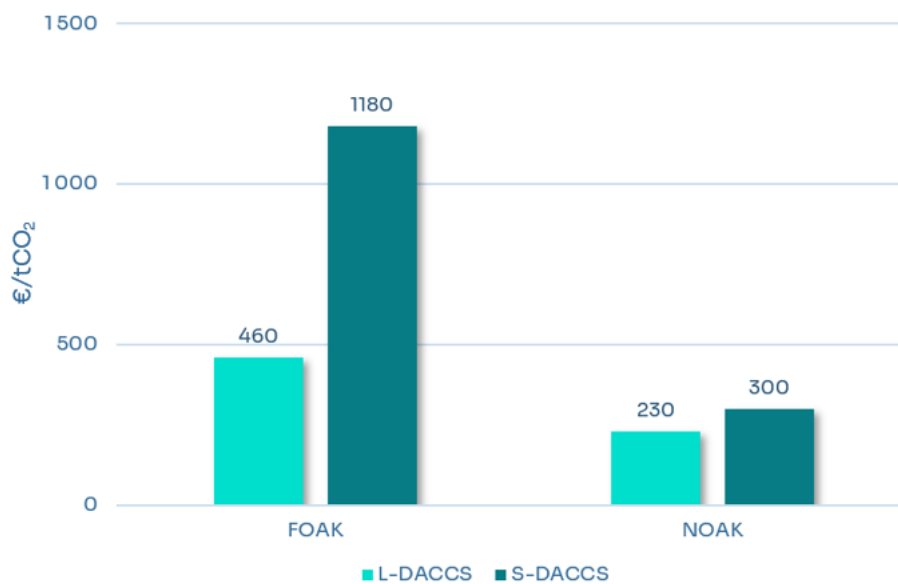
Ces estimations concernent **cependant un scénario tendanciel, et ne prennent pas en compte d'éventuelles ruptures technologiques majeures** (telle que la régénération électrochimique pour les L-DAC).

Une potentielle inversion des consommations énergétiques des technologies de DAC pourrait également avoir lieu. En effet, sans rupture technologique majeure, les systèmes **L-DAC** deviendraient possiblement plus énergivores que les systèmes **S-DAC**, car bénéficiant de moins de possibilités d'optimisations futures, ni de couplages énergétiques "simples" (aujourd'hui pour les technologies les plus matures, la régénération du CO₂ s'effectue à 900°C pour le procédé L-DAC vs 100°C pour le S-DAC).

Des coûts en « tonne de CO₂ retirée à l'atmosphère » très variables représentant un verrou économique fort

Pour les premiers projets aujourd'hui mis en service « **First-of-a-Kind (FOAK)** » et les projets en devenir « **Nth-of-a-Kind (NOAK)** » Sia a réalisé une analyse de la littérature qui donne des estimations de coûts (€/tCO₂ retirée à l'atmosphère) suivantes :

Estimations Sia (2026) des coûts FOAK et NOAK



Sources : Analyse Sia, depuis : [European Parliament \(2025\)](#) ; [Trendafilova, P. \(2024\)](#) ; [Colorado School of Mines \(2023\)](#) ; [Al Juaied & Whitmore \(2023\)](#)

Dans **le cas de technologies FOAK**, les procédés de **S-DACCS** atteignent des coûts supérieurs à ceux de **L-DACCS**.

Cette différence s'explique par de nombreux facteurs : maturité des projets, économies d'échelle pour les installations de **L-DACCS**, coûts des sorbants plus élevés que des solvants classiques, différentes montées en température, etc.

En ce qui concerne **des installations NOAK**, les coûts des deux familles technologiques (**L-DACCS** et **S-DACCS**) tendraient à se rapprocher aux alentours de **230-300 €/tCO₂**. Cela s'explique notamment grâce à l'apprentissage technologique, l'amélioration des procédés ou encore les sources d'approvisionnement énergétique et les couplages possibles associés.

Ces estimations sont cependant à prendre avec précaution, dans la mesure où le stockage est supposé à proximité du lieu de capture. La partie des coûts associée aux étapes aval reste encore à quantifier précisément et pourrait influencer, voire renchérir le coût total de la filière.

D'autres facteurs sont à prendre en compte, tels que les besoins en ressource en eau et en foncier

- Besoin en ressource en eau

Selon les procédés DAC, la ressource en eau peut être utilisée de différentes manières : pour les cycles chimiques, pour le maintien de l'efficacité du milieu (solvant ou sorbant), pour le refroidissement ou pour d'autres fonctions d'exploitation.

Les besoins en eau ne sont cependant pas similaires selon les technologies, comme le montre le tableau suivant pour le **L-DAC** et le **S-DAC**.

Tableau des estimations des besoins en ressource en eau

Consommation d'eau – L-DAC	Consommation d'eau – S-DAC
Estimations entre 2,6 et 22,8 tH₂O/tCO₂	Estimations entre 1,6 et 2 tH₂O/tCO₂

Sources : Sia depuis « The role of Direct Air Capture technologies in the EU's decarbonisation effort, An analysis of the potential, cost-effectiveness, risks, investment needs as well as technological, economic, administrative and legal prerequisites and requirements. » European Parliament, 2025.

Dans l'ensemble, les procédés de type **L-DAC**, reposant sur des solvants liquides à base d'hydroxyde, figurent **parmi les plus consommateurs en eau**, principalement en raison des pertes liées à l'évaporation lors du passage de l'air dans le milieu aqueux.

Dès lors, **la disponibilité en eau douce constitue une contrainte importante** pour l'implantation de ces installations et apparaît comme un critère déterminant dans le choix des sites, au regard des volumes nécessaires.

- Besoin en foncier

L'empreinte au sol est également un facteur variable selon les technologies de DAC et à prendre en compte dans un déploiement. Le tableau suivant présente ainsi les estimations de surface nécessaire.

Tableau des estimations des besoins en foncier

Surface nécessaire – L-DAC	Surface nécessaire – S-DAC
Estimation aux alentours de 0,4 km²/MtCO₂	Estimation aux alentours de 1,2 et 1,7 km²/MtCO₂

Sources : Sia depuis « The role of Direct Air Capture technologies in the EU's decarbonisation effort, An analysis of the potential, cost-effectiveness, risks, investment needs as well as technological, economic, administrative and legal prerequisites and requirements. » European Parliament, 2025.

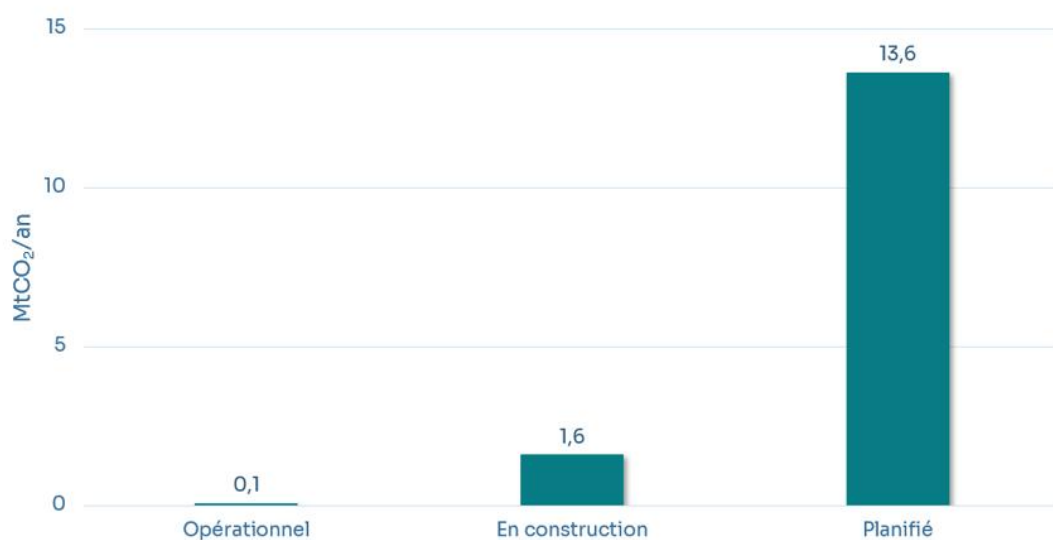
Ces estimations n'intègrent pas la chaîne aval (transport et stockage) et les éventuelles infrastructures requises pour la production d'énergie alimentant les systèmes de DAC. Or, **les installations de production d'énergie bas-carbone destinées à ces technologies constituent vraisemblablement le principal poste d'emprise foncière.**

Au niveau des projets en construction, peu d'informations sur les surfaces exactes nécessaires sont communiquées. Dans le cas de l'installation de **L-DAC STRATOS**, des entreprises 1PointFive et Carbon Engineering, 26 hectares seront nécessaires.

Panorama de la capacité de capture dans le monde

Sia a réalisé un référencement des capacités de captage actuellement effectives et prévisionnelles, pour les différents projets de DAC en cours et planifiés. Les répartitions suivantes sont ainsi obtenues, selon le statut du projet.

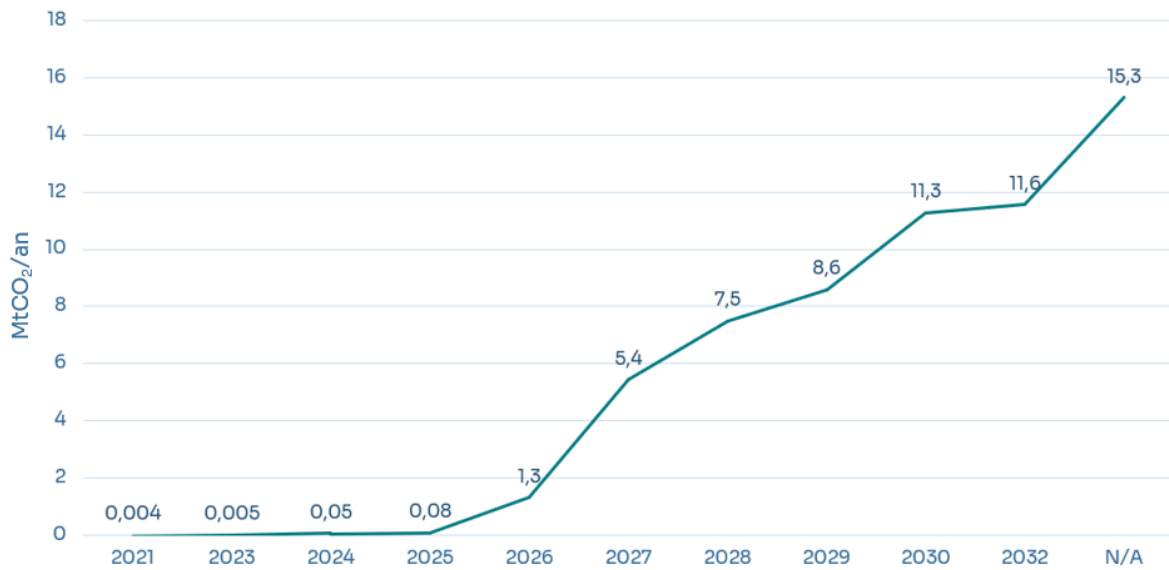
Répartition des capacités de captage du CO₂ par statuts des projets (2026)



Sources : Analyse Sia, depuis IEA (2025), IEA (2026), [European Parliament \(2025\)](#), [Direct Air Capture Database at Cornell \(2026\)](#)

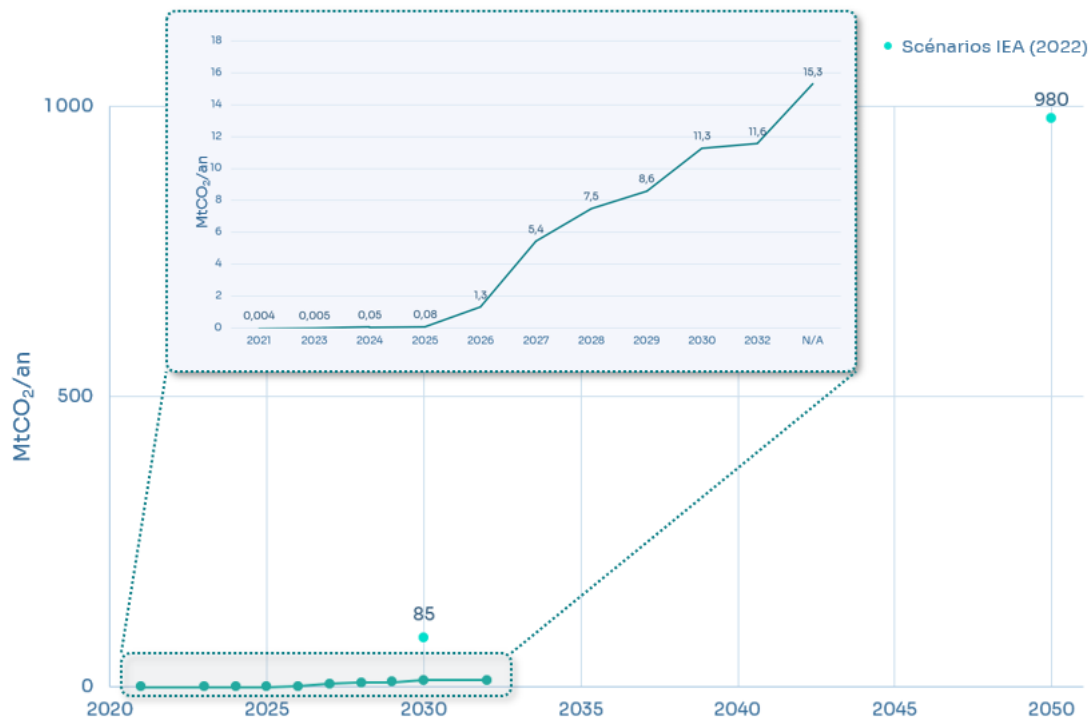
Les années à venir représenteront une réelle industrialisation de la filière de capture du CO₂ de l'atmosphère, avec une capacité de captage pouvant atteindre **les 15,3 MtCO₂** par an, comme le montre le graphique suivant.

Répartition des capacités de captage du CO₂ par années (2026)



Sources : Analyse Sia, depuis IEA (2025), IEA (2026), [European Parliament](#) (2025), [Direct Air Capture Database at Cornell](#) (2026)

Comparaison de la répartition des capacités de captage du CO₂ par années (2026) et des scénarios Net Zéro IEA de 2022



Sources : Analyse Sia, depuis IEA (2025), IEA (2026), [European Parliament](#) (2025), [Direct Air Capture Database at Cornell](#) (2026), IEA (2022)

Ce graphique met cependant en comparaison les capacités de capture estimées actuellement et les scénarios visant la neutralité carbone d'ici 2050 de l'IEA (2022). Les objectifs sont encore loin d'être atteints.

Ces données sont cependant susceptibles d'évoluer, certains projets pouvant finalement ne pas voir le jour, tandis que de nouveaux pourraient être annoncés dans les années à venir.

Un déploiement en France est-il possible ?...

Différents critères d'implantation sont à prendre en compte dans l'étude du déploiement de technologies de DAC.

Selon notre analyse résumée ci-dessous, toutes les conditions ne sont, à l'heure actuelle, pas encore réunies.

Critères d'implantation des technologies de DAC en France (2026)				
Liste et évaluation des principaux critères au développement du DAC en France à horizon 2050 (évaluation Sia)				
Critères		Priorisation	Aujourd'hui	2050
Cadre réglementaire	Cadre normatif	Prérequis		<i>Dépendance aux décisions politiques futures</i>
	Permitting	Prérequis		
	Mécanisme de soutien	Prérequis		
Electricité	Intensité carbone du mix actuel et futur	P1		
	Disponibilité de l'énergie électrique	P1		
Energie thermique bas carbone	Capacité de mobilisation de sources de chaleur fatale	P1 (S-DACCS)		
	Développement d'énergie thermique bas-carbone	P2		
Ressources	Ressource en eau	P1 (L-DACCS)		
	Foncier disponible	P2		
Ecosystème	Ecosystème acteurs (académiques, startups, etc.)	Autres		
Infrastructures	Pipeline de CO ₂ et hub de décarbonation	P1		
	Stockage géologique en France	P1		

Verrou à lever pour un déploiement du DAC Critère à sécuriser pour un déploiement du DAC Compatible avec un déploiement du DAC

Sources : Analyse Sia

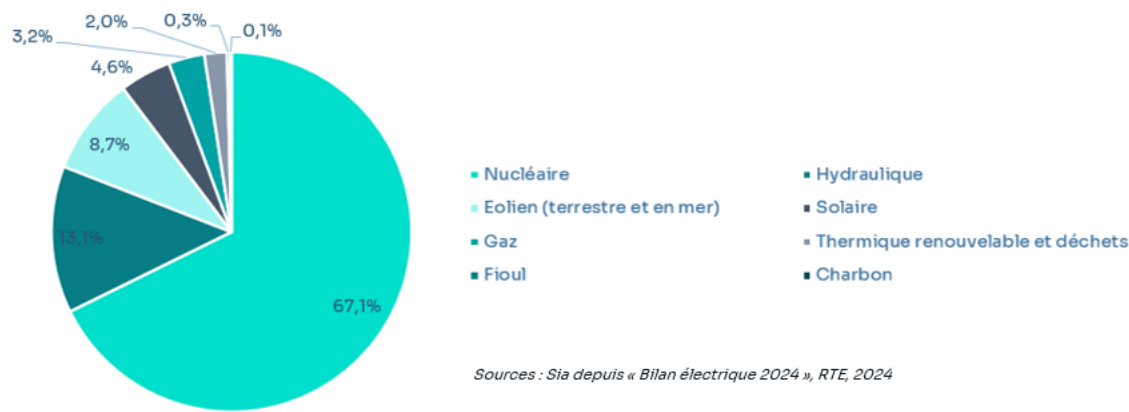
- Exemple d'analyse sur le critère d'intensité carbone du mix électrique actuel et futur

Tableau d'analyse du critère d'intensité carbone du mix électrique français (2026)				
Critère		Priorisation	Evaluation Sia	
			Aujourd'hui	=> 2050
Electricité	Intensité carbone du mix électrique actuel et futur	P1		
			Intensité carbone de la production d'électricité française parmi les plus basse du monde (21,7 gCO ₂ e/kWh en 2024 selon RTE)	Scénarios Développement des capacités de production uniquement basé sur des sources bas-carbone d'après le Bilan prévisionnel 2025 de RTE. RTE pour 2050 reposant tous sur une répartition entre énergie renouvelables et nucléaire .

Sources : Analyse Sia

Comme évoqué précédemment, les technologies de DAC ont une consommation énergétique importante (électrique et/ou thermique). Afin d’avoir un intérêt environnemental, ces procédés doivent être alimentés par des énergies bas-carbone.

Répartition du mix électrique français



La France possède donc un avantage avec son mix électrique décarboné. Le déploiement de technologies de DAC permettrait de limiter le risque que les émissions captées par les procédés soient en grande partie contrebalancées par celles générées par la production d’énergie.

- Exemple d’analyse sur le critère de disponibilité de l’électricité

Tableau d’analyse du critère de disponibilité de l’électricité en France (2026)

Critère		Priorisation	Evaluation Sia	
			Aujourd’hui	=> 2050
Electricité	Disponibilité de l’électricité	P1	✓	🎯
			1,7 TWh d’énergie solaire et éolienne écartée en France en 2024 et redressement de la production nucléaire selon RTE.	La France fait face à une électrification de ses usages. Estimation de la consommation totale en France métropolitaine en 2050 par RTE : 645TWh, dont 180 TWh pour l’industrie. RTE prévoit six scénarios de mix de production, comprenant notamment le solaire, l’éolien (onshore et offshore) et le nucléaire (historique et nouveau). En parallèle, vieillissement du réseau, avec 40 000 km de lignes électriques à moderniser d’ici 2040 et question de la fermeture de centrales nucléaires, selon RTE.

Sources : Analyse Sia

Aujourd’hui, la France bénéficie encore d’une électricité relativement abondante, ce qui constitue un contexte favorable pour le déploiement de procédés électro-intensifs comme le DAC.

Toutefois, cette situation pourrait évoluer rapidement avec la montée en puissance de l'électrification des usages, en particulier dans l'industrie, qui devrait accroître la pression sur le système électrique.

À l'horizon 2030-2035, la question ne sera donc plus seulement celle de la disponibilité de l'électricité, mais aussi de sa capacité à répondre à une demande croissante dans de bonnes conditions de stabilité.

Dans ce contexte, les besoins en flexibilité du réseau devraient s'intensifier, notamment avec le développement des énergies renouvelables intermittentes.

Enfin, même si le réseau électrique français est aujourd'hui performant et fiable, son vieillissement impose une vigilance particulière et des efforts soutenus de modernisation.

...Oui sous certaines conditions et à partir de 2050 et au-delà

À ce stade, un déploiement à grande échelle des technologies de capture directe dans l'air (DAC), d'ici la fin de la décennie, ne paraît pas réaliste, **notamment en raison de l'absence de cadre réglementaire adapté** (mécanismes de soutien, permitting, facilitation d'implantation...).

Il existe néanmoins **un potentiel réel de déploiement à l'horizon 2050 et au-delà**, porté par un mix électrique décarboné performant et potentiellement innovant, le développement de couplages énergétiques (centrales nucléaires, petits réacteurs modulaires SMR) et la présence d'infrastructures de transport et de stockage du CO₂.

La réalisation de cet objectif suppose toutefois des évolutions du cadre réglementaire, afin de favoriser et d'encourager le déploiement de ces technologies en France.

Quelques acteurs du monde académique sont tout de même déjà actifs sur le sujet en France, tout comme les **6 startups** suivantes :

- **Yama** : Entreprise française (Paris), avec un procédé combinant électrochimie et source de chaleur à basse température, ayant pour objectif de lancer un premier démonstrateur en 2028, avec une capacité de capture de 5 000 à 10 000 tonnes de CO₂ par an, puis une première usine FOAK en 2030, pour capter 40 000 à 120 000 tonnes de CO₂ par an.
- **Alpine-X** : Entreprise française (Val-d'Isère), avec une approche de capture du CO₂ en altitude, pour profiter des conditions climatiques froides et peu humides, et ayant pour objectif le lancement d'un premier pilote courant 2026.

- **Norma** : Entreprise française (Paris), développant un procédé combinant stockage d'énergie et capture de carbone, grâce à des cycles électrochimiques inspirés de supercondensateurs, et ayant pour objectif de lancer un démonstrateur en 2028 et une usine FOAK en 2030.
- **Aerleum** : Entreprise française (Strasbourg), qui développe un procédé DAC captant le CO₂ et le convertissant en carburant et produits chimiques dans un seul réacteur, et ayant pour objectif de construire une première usine de démonstration en 2028.
- **Stathmos** : Entreprise française (Le Mans), mettant au point des modules DAC de la taille de conteneurs, qui capturent le CO₂ et produisent de l'eau potable, et ayant pour objectif de capter 2,5 millions de tonnes de CO₂ par an d'ici 2030.
- **Carbon Cage** : Entreprise française (Saint-Étienne), avec un procédé pouvant opérer à la fois sur les fumées industrielles et pour le CO₂ de l'air, ayant rejoint très récemment l'incubateur TEAM Mines Saint-Étienne. L'objectif est le lancement d'un prototype en 2032.

Les projets de DAC en France comme en Europe pourraient ainsi se multiplier, tout en demeurant confrontés à certaines limites, notamment liées à l'évolution et la disponibilité du réseau électrique, aux possibilités de couplage entre systèmes énergétiques (énergie nucléaire et chaleur fatale), aux coûts des technologies (notamment des OPEX liés à l'énergie), à la disponibilité du foncier ou de la ressource en eau (L-DAC) et la mise en place d'un cadre réglementaire fort.



Optimists for change

Sia est un groupe international de conseil en management de nouvelle génération, fondé en 1999. Nés à l'ère du digital, nous sommes augmentés par la data, enrichis par la créativité et guidés par la responsabilité. Nous collaborons avec nos clients pour relever les défis et saisir les opportunités. Dans un monde en pleine mutation, nous croyons que l'optimisme est un puissant levier de transformation. Avec une expertise couvrant un large éventail de secteurs et de services, nos 3 000 consultants accompagnent des clients dans le monde entier, depuis 48 bureaux répartis dans 19 pays. Notre expertise produit des résultats concrets. Notre optimisme change la donne.