

Estimation des capacités de stockage géologique de CO₂ en France métropolitaine

Février
2025

Résumé de l'étude EVASTOCO2

Par la publication en juillet 2024 de l'« État des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France », l'État a présenté les actions stratégiques qu'il met en œuvre, ou entreprend de mettre en œuvre, concernant le développement de la filière de captage, valorisation et stockage du dioxyde de carbone (*Carbon Capture, Utilisation and Storage*, ou « CCUS »).

Plusieurs d'entre elles concernent l'étude du développement de capacités de stockage souverain. L'établissement d'un inventaire national de l'estimation des capacités de stockage géologique du dioxyde de carbone (CO₂) en est la première étape.

Cet inventaire, co-financé par l'ADEME à la demande de la DGEC (Direction générale de l'énergie et du climat), a été réalisé par plusieurs entités spécialisées dans la connaissance et l'usage du sous-sol : AKKODIS, AVENIA, BRGM, CVA, GEOSTOCK, IFPEN, TEREQA, TOTALENERGIES et Université de Lorraine. Cinq zones ont été retenues pour cet inventaire :

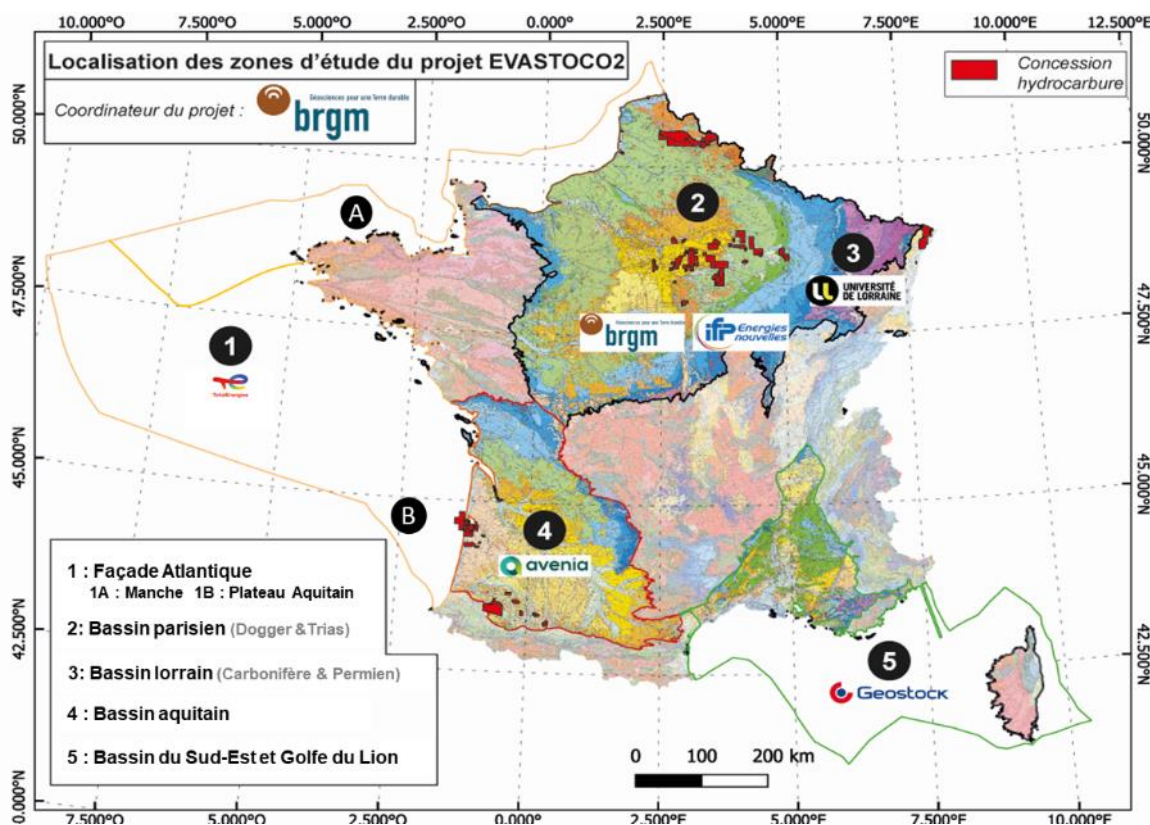


Figure 1 : Localisation des zones étudiées au cours d'EVASTOCO2

Le règlement européen *Net Zero Industry Act* (NZIA), publié en juin 2024, prévoit que chaque État membre publie un atlas national sur les capacités potentielles de stockage géologique du CO₂. L'étude EVASTOCO2 répond notamment à cette obligation européenne et contribue à la libre circulation des données relatives à la connaissance du sous-sol.

Cette étude est décrite et détaillée par un rapport de synthèse, ainsi qu'un rapport complet pour chacune des zones étudiées et un SIG¹ positionnant géographiquement les capacités de stockage du CO₂ estimées à ce jour. L'ensemble de ces documents et outils seront publics et disponibles sur les sites Internet de la DGEC² et de l'ADEME³.

1. Enjeux et limitations de l'étude EVASTOCO2

L'étude EVASTOCO2 constitue une première étape de capitalisation et analyse des connaissances publiques ayant permis de fournir une estimation des capacités de stockage de CO₂ en France métropolitaine, appelées également « ressources prospectives⁴ ».

L'étude recense différentes typologies d'unités de stockage. Une « unité de stockage » y désigne ainsi indifféremment les champs d'hydrocarbures déplétés ou les réservoirs géologiques en aquifères salins profonds associés à des pièges structuraux⁵ ou bien hors structure⁶. Certains réservoirs d'hydrocarbures peuvent être anhydres (absence d'eau).

À long terme, le CO₂ stocké dans un stockage souterrain subit plusieurs processus naturels qui assurent sa stabilité et sa sécurité. Les pièges géologiques utilisés pour le stockage, comme par exemple les réservoirs d'hydrocarbures abandonnés, sont choisis pour leur capacité à retenir le CO₂ sur de très longues périodes de temps, souvent des millions d'années. Une attention particulière est aussi portée sur la nature de la couche géologique située au-dessus du réservoir et assurant son étanchéité. En aquifère salin tout comme en réservoir déplété, il conviendra de s'assurer que le CO₂ y sera stocké de manière sûre et permanente conformément à la directive européenne 2009/31/CE relative au stockage géologique du dioxyde de carbone (dite « directive CSC »).

Tous les types d'unités de stockage n'ont pas été étudiés de manière homogène entre les bassins visés par l'étude en raison de la disparité des données disponibles sur l'ensemble des zones considérées.

Deux méthodes de calcul statique⁷ ont été utilisées pour l'ensemble des zones et peuvent donner des résultats différents, associés à de fortes incertitudes. La méthode M1 se fonde sur des coefficients d'efficacité de stockage (*Storage Efficiency Factor* ou SEF) issus de la littérature⁸, affectant un volume poreux disponible. La méthode M2 est fondée sur une équation physique incluant - pour les aquifères salins - une surpression admissible de 20 % comparée à la pression initiale du réservoir, et - pour les réservoirs déplétés - un retour à la pression initiale à partir de la pression à la fin de l'exploitation des hydrocarbures ou plus exactement lors du début⁹ de l'injection du CO₂.

¹ Système d'Information Géographique

² <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/capture-valorisation-stockage-du-carbone-cvsc-carbon-capture-utilization-and-storage>
³ <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/7966-estimation-des-capacites-de-stockage-geologique-de-co2-en-france-metropolitaine.html>

⁴ Les ressources prospectives correspondent aux volumes potentiellement disponibles et utilisables pour stocker du CO₂. Ils ne seront cependant pas nécessairement économiquement exploitables dans le futur.

⁵ Un piège structural est une disposition de formations géologiques formée par leurs déformations (plissées ou faillées) à la suite de mouvements tectoniques. Les roches réservoirs peuvent alors créer un volume dit fermé, c'est-à-dire qui n'implique pas de migration de CO₂ une fois injecté dans le sous-sol (il est donc piégé). L'exemple le plus courant de ce type de piège est celui de l'anticlinal.

⁶ Un stockage hors structure est une disposition de couches favorables, présentant un réservoir surmonté d'une couverture, ne créant pas un volume fermé (du moins localement) et impliquant une migration plus ou moins rapide du CO₂ par rapport à son point d'injection. D'autres mécanismes de piégeage peuvent intervenir alors, comme le piégeage capillaire, la dissolution dans l'eau et même la minéralisation à des échelles de temps très différentes selon la nature des roches.

⁷ Statique est ici employé comme le contraire de dynamique. Une évaluation statique de capacités ne fait pas intervenir les simulations d'écoulement des fluides dans les modèles de réservoirs.

⁸ Ce coefficient aurait dû être calculé pour chaque unité structurale mais toutes les données n'étaient pas disponibles pour cela et le temps imparti pour l'étude était un facteur limitant.

⁹ En effet, il peut y avoir un temps plus ou moins long entre l'arrêt de la production d'hydrocarbures et le début de l'injection de CO₂. Temps pendant lequel la pression dans le réservoir peut remonter vers la pression initiale plus ou moins rapidement. Plus elle remontera vite, moins de CO₂ pourra être injecté.

Pour chaque méthode, des incertitudes ont été estimées par les quantiles Q10 (valeur la plus conservatrice), Q50 (valeur moyenne) et Q90. Tous les quantiles n'ont pas pu être calculés pour la méthode M1, en particulier les réservoirs d'hydrocarbures déplétés des Bassins parisien et aquitain, où la méthode M1 ne semblait en effet pas être adaptée (notamment en raison des incertitudes précitées sur le facteur SEF) pour des gisements parfois abandonnés depuis plusieurs années. Par ailleurs, des écarts significatifs ont été constatés entre les deux méthodes pour la façade Atlantique, la méthode M1 semblant surestimer les capacités de stockage d'un facteur de 10 à 100 par rapport à la méthode M2, plus conservatrice qui a alors été privilégiée.

2. Ressources potentielles estimées dans l'étude

Les résultats présentés dans le Tableau 1 sont à interpréter comme des indicateurs généraux, susceptibles d'évoluer vers des valeurs plus précises. Ils montrent un réel potentiel de stockage géologique du CO₂ sous forme gazeuse dense (supercritique) sur le territoire métropolitain.

Pour les **ressources prospectives dans les pièges géologiques**, la meilleure estimation est de **1,1 Gt**. Dans les aquifères salins hors structure géologique, pour les zones l'ayant calculée, la meilleure estimation est de 3,7 Gt de capacités de stockage additionnelles.

Ces chiffres correspondent à une estimation des "ressources" potentielles. Celles-ci doivent faire l'objet d'études plus approfondies pour en déterminer plus précisément les caractéristiques et les éventuelles "réserves"¹⁰ qui pourraient en découler. Ces études complémentaires seront à réaliser par des opérateurs dans le cadre de permis d'exploration. Les résultats de l'étude EVASTOCO2 ne préjugent pas de l'issue future de demandes de permis de recherche sur les gisements, ni d'une éventuelle demande de mise en exploitation.

En aquifère salin tout comme en réservoir déplété, il faudra s'assurer de l'étanchéité des couches sus-jacentes (couverture géologique).

(n° sur carte) Zone géographique - milieu	Type d'unité de stockage	Meilleure estimation des capacités de stockage de CO ₂ (Mt)
(1A) Manche - maritime	Piège géologique	0
	Hors piège géologique	1 054
(1B) Plateau aquitain - maritime	Piège géologique	24
	Hors piège géologique	377
(2) Bassin parisien - terrestre	Piège géologique	13
	Hors piège géologique	1 381
(3) Bassin lorrain (Carbonifère et Permien) - terrestre	Piège géologique	-
	Hors piège géologique	845
(4) Bassin aquitain - terrestre	Piège géologique	746
	Hors piège géologique	-
(5) Bassin du Sud-Est - terrestre	Piège géologique	25

¹⁰ **Réserves**: Ce sont les parties des ressources qui ont été découvertes et qui peuvent être exploitées de manière économique et technique avec les technologies actuelles.

	Hors piège géologique	-
(5) Golfe du Lion - maritime	Piège géologique	335
	Hors piège géologique	-
Cumul en piège géologique en réservoirs déplétés et aquifères salins (Mt)		1 143
Cumul hors piège géologique en aquifère salin (Mt)		3 657

Tableau 1 : Capacités potentielles des unités de stockage étudiées par zone géographique

3. Conclusions

L'étude EVASTOCO2 est une première étude technique qui constitue une avancée significative dans l'estimation des capacités de stockage géologique de CO₂ en France. Réalisée par neuf entités publiques et privées, elle met en œuvre des méthodologies communes, adoptées collégialement, et est fondée sur l'analyse des connaissances et données existantes disponibles dans le domaine public.

L'étude conclut à un potentiel de stockage **d'environ 1 Gt de stockage en CO₂ dans les pièges géologiques** et plus de 3 Gt en aquifères hors structure. Ces chiffres montrent la potentialité technique de développer des **stockages de CO₂ souverains**. Il ne s'agit néanmoins à ce stade que de **ressources potentielles** et non de réserves. Leurs caractérisations nécessiteront des études plus approfondies, à réaliser par des opérateurs titulaires de permis de recherche. À ce jour, aucun permis de recherche de stockage de CO₂ n'a été accordé en France.

D'autres techniques, comme l'injection de CO₂ sous forme dissoute¹¹ dans les aquifères salins, ou même la minéralisation du CO₂ dans des roches mafiques et ultramafiques¹², pourraient contribuer à l'augmentation des capacités de stockage mais ne sont pas abordées dans ce rapport.

L'étude EVASTOCO2 constitue une estimation des capacités de stockage géologique de CO₂ et ne préjuge pas des résultats qui seraient obtenus lors de futurs projets industriels. Ces projets feront, individuellement, l'objet d'un processus d'autorisation administrative incluant une concertation auprès des parties prenantes prévue par le code de l'environnement et le code minier.

¹¹ Références au projet CO₂Dissolved du BRGM, aux projets Pycafix du pôle AVENIA ou Carbfix en Islande.

¹² Roches mafiques et ultra mafiques : roches d'origine magmatique plus ou moins silicatées riches en magnésium, fer mais aussi en calcium. Des exemples sont les basaltes, les gabbros, les ophiolites ...

RÉSUMÉ

L'étude EVASTOCO2 a estimé les capacités de stockage de CO₂ en France métropolitaine à partir de l'état des connaissances actuelles et selon une méthodologie commune en utilisant deux méthodes distinctes M1 et M2.

Les capacités totales pour les réservoirs déplétés sont estimées à 667 Mt en utilisant méthode la plus adaptée parmi M1 et M2.

Concernant les aquifères salins profonds terrestres, le plus grand potentiel de stockage se trouve hors structure, notamment dans le Bassin parisien et le Bassin lorrain. Dans le Bassin aquitain, le potentiel est moins important mais est estimé dans des structures fermées. Il existe des capacités significatives mais plus théoriques à ce stade en mer, que ce soit dans le golfe du Lion ou sur la façade Atlantique. Les capacités de stockage selon la méthode la plus adaptée sont de 2 343 Mt à terre (dont 117 Mt en structures fermées) et de 1 790 Mt en mer (dont 359 Mt en structures fermées). La fourchette d'incertitude avec la méthode M2 est inférieure à $\pm 20\%$. Cependant, il existe au moins un ordre de grandeur entre les deux méthodes M1 et M2 pour les aquifères salins.

Au total, les résultats d'EVASTOCO2 ont permis d'estimer une ressource d'environ 1,1 Gt (milliards de tonnes) de stockage de CO₂ dans des structures fermées et de 3,7 Gt dans des aquifères salins hors structures.

EVASTOCO2 mentionne aussi les interférences possibles avec d'autres usages du sous-sol à partir d'un recensement des usages existants ou passés. Ces estimations de capacités de stockage sont aussi fournies dans une cartographie au format SIG (shapefile) accompagnant le rapport de synthèse.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2397D0052

Étude réalisée par AKKODIS, AVENIA, BRGM, CVA, Geostock, IFPEN, Teréga, TotalEnergies, et Université de Lorraine, cofinancée par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par le BRGM

Commanditaire – DGEC/BRESS : LECOMTE Jean-Claude et PAQUIER Carol

Coordination technique - ADEME : BOUVIER Solène, HAEMMERLEIN Mathilde et PILLET Adeline
Direction Entreprises et Transitions Industrielles – Service de la Décarbonation de l'Industrie et H₂

CITATION DE CE RAPPORT

PASCAULT GAUCI Ophélie, CHEPY Michael, AKKODIS, FLEURY Thibaut, GONTHIER Nicolas, BLAIZOT Marc, FROUTE Jean-Yves, AVENIA, BURNOL André, BORDENAVE Aurélien, Le GUENAN Thomas, THINON Isabelle, BECCALETTO Laurent, GRATALOUP Sandrine, SERRANO Olivier, BRGM, RIGOLLET Christophe, CVA, CARLIER Benjamin, LE GALLO Yann, GEOSTOCK, GUILLON Valentin, BOSSIE-CODREANU Dan, IFPEN, BOUGEARD Didier, STANKOFF Maud, MANGEON-FAIRWEATHER Andrew, ADLER Frank, THIBEAU Sylvain, TOTALENERGIES, TILLY Ronan, TEREKA, PIRONON Jacques, HEMELSDAEL Romain, UNIVERSITÉ DE LORRAINE. 2025. Estimation des capacités de stockage géologique de CO₂ en France métropolitaine (EVASTOCO2). 70 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne sur
<https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/7966-estimation-des-capacites-de-stockage-geologique-de-co2-en-france-metropolitaine.html> et
<https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/capture-valorisation-stockage-du-carbone-cvsc-carbon-capture-utilization-and>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.