

# Panorama mondial des potentiels de stockage géologique du CO<sub>2</sub>

Par Isabelle CZERNICHOWSKI-LAURIOL

Déléguée à la recherche et à l'appui aux politiques publiques au BRGM, présidente émérite de l'association CO<sub>2</sub>GeoNet et membre du conseil d'administration du Club CO<sub>2</sub> français

Et Christophe POINSSOT

Directeur général délégué et directeur scientifique du BRGM

Depuis le rapport spécial du GIEC sur le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> paru en 2005, lequel indiquait un potentiel mondial de stockage dans les formations géologiques d'au moins 2 000 GtCO<sub>2</sub>, diverses méthodologies d'estimation des capacités de stockage ont été proposées. De nombreux pays ont estimé leur potentiel de stockage du CO<sub>2</sub> sur la base de calculs volumétriques, et une dizaine d'entre eux l'ont consigné dans des atlas. Des estimations plus fines des capacités d'un certain nombre de sites potentiels de stockage ont été réalisées sur la base de simulations dynamiques de l'injection de CO<sub>2</sub> dans le réservoir de stockage. Malgré les fortes incertitudes liées notamment au peu de données disponibles sur le sous-sol profond et à l'hétérogénéité naturelle des formations géologiques, les capacités de stockage estimées sont très supérieures aux besoins nécessaires en la matière pour lutter contre le réchauffement climatique.

## Introduction

Le rapport spécial du GIEC sur le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> (CSC, ou CCS en anglais), paru en 2005, a consacré la reconnaissance au niveau international de cette technologie émergente parmi les options possibles pour contribuer à l'atténuation du changement climatique. Ce rapport indique que, d'après les données disponibles, il est probable qu'il existe un potentiel mondial de stockage dans les formations géologiques d'au moins 2 000 Gt de CO<sub>2</sub>. Deux principales options de stockage sont envisagées : d'une part, dans les gisements de pétrole et de gaz déplétés (entre 675 et 900 GtCO<sub>2</sub>) et, d'autre part, dans les aquifères salins profonds (au moins 1 000 GtCO<sub>2</sub>). Pour ces derniers, l'évaluation de leur capacité maximale de stockage reste complexe à mener à bien du fait du peu d'informations disponibles et de l'absence de méthodologie stabilisée, d'où la formulation « au moins ».

Ces capacités d'au minimum 2 000 GtCO<sub>2</sub> sont à mettre en relation avec les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> générées par les plus gros émetteurs industriels (> 100 ktCO<sub>2</sub>/an), qui sont évaluées à 13,4 GtCO<sub>2</sub>/an et sont imputables à 7 887 sites, d'après ce même rapport spécial du GIEC. Dans le détail, ces émissions proviennent pour 10,5 GtCO<sub>2</sub>/an de la production d'électricité à partir d'énergies fossiles (4 942 sites), pour 2,8 GtCO<sub>2</sub>/an de l'industrie (2 642 sites) et pour 0,1 GtCO<sub>2</sub>/an de la production d'énergie à partir de biomasse (303 sites). Le GIEC considère donc que le CSC possède un potentiel considérable d'atténuation du réchauffement climatique, et qu'il peut contribuer

à en réduire sensiblement le coût global pour les collectivités par rapport aux scénarios ne prenant pas en compte le CSC.

Depuis la sortie de ce rapport spécial du GIEC, de nombreuses études ont été menées pour préciser les capacités de stockage. Dans la suite de cet article, nous allons synthétiser l'état des connaissances actuelles relatives aux zones favorables au stockage et en matière d'estimation des capacités de stockage. Enfin, nous concluons cet article en évoquant les actions à entreprendre pour accélérer la mise en œuvre de projets de stockage du CO<sub>2</sub>. Le CSC peut en effet constituer un formidable levier d'action en créant des puits de carbone géologiques, venant en complément des puits de carbone naturels (forêts, sols, océans), pour contribuer à compenser les émissions irréductibles de CO<sub>2</sub> et atteindre, de ce fait, la neutralité carbone (Czernichowski-Lauriol, 2020).

## Les zones favorables au stockage géologique de CO<sub>2</sub> dans le monde

Wei *et al.* (2021) proposent une carte du monde (voir la Figure 1 de la page suivante) indiquant les zones favorables au stockage géologique de CO<sub>2</sub>. Elles se situent pour l'essentiel dans des bassins sédimentaires renfermant des aquifères salins profonds (en jaune) ou riches en champs d'hydrocarbures (en bleu). Au travers de symboles de diverses tailles, des estimations chiffrées sont données sur les capacités de stockage des différentes zones identifiées. L'étude a été

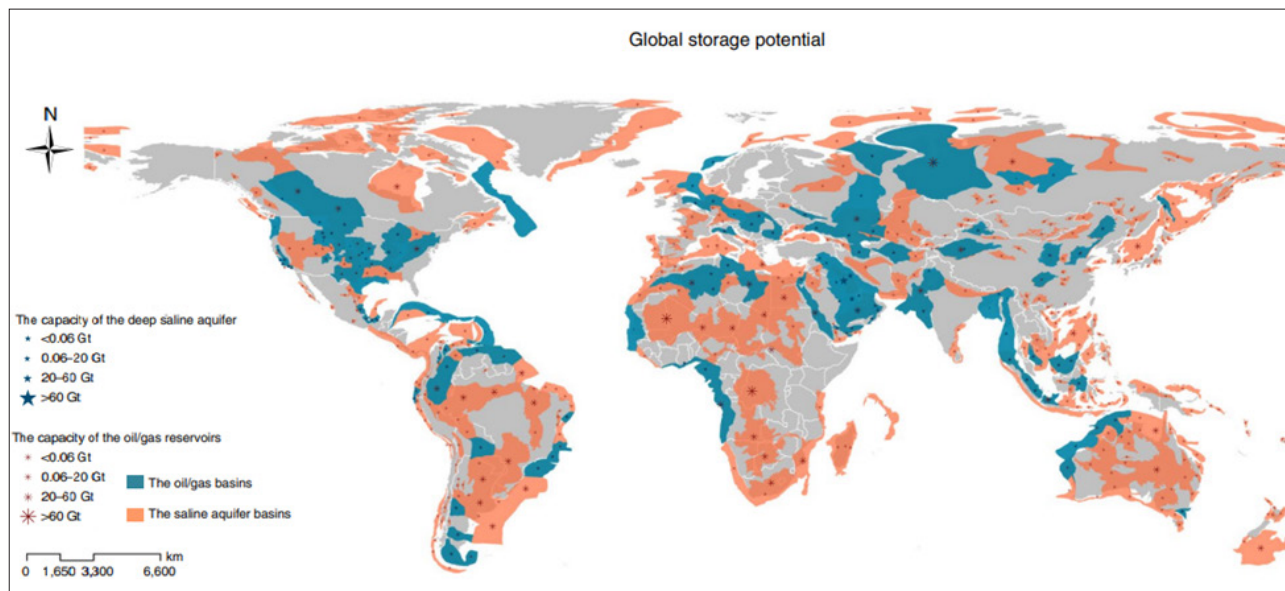


Figure 1 : Aperçu des potentiels de stockage géologique de CO<sub>2</sub> dans le monde : stockage dans des aquifères salins profonds (zones en orange) ou dans des réservoirs d'hydrocarbures (zones en bleu) – Source : Wei *et al.* (2021).

menée sur 794 bassins sédimentaires *onshore* présents dans 87 pays, dont 614 aquifères salins profonds et 180 réservoirs pétroliers où le stockage de CO<sub>2</sub> pourrait contribuer à la récupération assistée d'hydrocarbures (RAH). Une première estimation macroscopique du potentiel de stockage a été effectuée à partir de calculs volumétriques (Goodman *et al.*, 2011), avec un potentiel évalué à 2 082 GtCO<sub>2</sub>, dont 92 % (1 914 GtCO<sub>2</sub>) dans les aquifères salins et 8 % (168 GtCO<sub>2</sub>) dans des réservoirs d'hydrocarbures avec RAH. Des analyses de sensibilité et d'incertitude ont été effectuées sur des paramètres géologiques clés, tels que la porosité et l'épaisseur de la roche réservoir, ou sur la densité du CO<sub>2</sub> qui dépend des conditions de température et de pression dans le réservoir de stockage. Ces analyses conduisent à un large éventail d'estimations du potentiel effectif de stockage : entre 888 et 5 126 GtCO<sub>2</sub> pour les aquifères salins profonds et entre 124 et 300 GtCO<sub>2</sub> pour les réservoirs pétroliers permettant la récupération assistée de pétrole.

## L'estimation des capacités de stockage

L'estimation des capacités de stockage est un processus complexe qui est réalisé en plusieurs étapes et à plusieurs niveaux. Différentes classifications et méthodologies ont été proposées (CSLF, 297 ; Bachu *et al.*, 2007 ; Bradshaw *et al.*, 2007 ; Goodman *et al.*, 2011 ; SPE-SRMS, 2017 ; etc.). On distingue généralement quatre grandes étapes pour opérer cette estimation :

- **Capacité de stockage théorique, laquelle est généralement estimée à l'échelle d'un pays, d'un bassin sédimentaire ou d'une formation géologique**

L'objectif est d'abord d'identifier des couches géologiques poreuses et perméables (ou « roches réservoirs ») dans lesquelles le CO<sub>2</sub> pourrait être injecté, situées au minimum à 800 m de profondeur pour que

le CO<sub>2</sub> soit stocké dans un état dense et non gazeux, et recouvertes par des « roches couvertures » imperméables permettant d'empêcher toute remontée du CO<sub>2</sub> vers la surface. Le CO<sub>2</sub> étant piégé essentiellement sous forme dense dans les pores des roches réservoirs, on estime d'abord le volume de ces pores d'après l'épaisseur, l'extension et la porosité (volume de l'espace entre les grains minéraux par rapport au volume total de la roche) des roches réservoirs, puis on applique un facteur correctif prenant en compte le fait que seule une partie de cette porosité sera accessible pour y injecter du CO<sub>2</sub> (de 1 à 5 %, généralement). Enfin, on convertit le volume disponible en masse de CO<sub>2</sub> en tenant compte de la densité de celui-ci dans les conditions de pression et de température des roches réservoirs. Il s'agit donc d'une première estimation basée sur des calculs volumétriques, qui permet de déterminer une enveloppe maximale de la quantité de CO<sub>2</sub> susceptible d'être stockée.

- **Capacité de stockage potentielle, laquelle est estimée en général sur une zone plus ciblée et en prenant en compte toutes les données disponibles (coupes sismiques, données de forage, échantillons de roches, etc.)**

Des calculs volumétriques plus précis peuvent alors être réalisés, en tenant compte de toutes les données disponibles sur la zone ciblée. Ils peuvent être assortis de calculs probabilistes pour tenir compte de l'incertitude inhérente aux propriétés géologiques et aux conditions du sous-sol en utilisant plusieurs plages de valeurs. Les simulations statistiques conduisent alors à une gamme de valeurs pour apprécier la capacité de stockage. C'est l'approche suivie par Wei *et al.* (2021) dans leur étude présentée ci-dessus.

- **Capacité de stockage possible, laquelle est estimée en général pour un site de stockage envisagé**

Outre le recueil de toutes les données disponibles, cela nécessite des acquisitions de données détaillées sur le

site ciblé, la construction d'un modèle géologique de celui-ci et la mise en œuvre de modélisations dynamiques pour simuler l'injection de CO<sub>2</sub> dans le réservoir via un ou plusieurs puits d'injection, prédire sa migration et son piégeage par divers mécanismes au fil du temps.

- **Capacité de stockage réaliste, laquelle est elle aussi estimée pour un site de stockage envisagé**

Elle est estimée sur la base de simulations dynamiques et géomécaniques poussées, visant à s'assurer de la possibilité d'injecter et de stocker le volume requis de CO<sub>2</sub> capté avec toutes les précautions nécessaires à la maîtrise des risques afférents à une telle opération. La capacité de stockage peut être augmentée en recourant à des techniques d'ingénierie, comme l'extraction et/ou la (ré)injection d'eau, ou en optimisant le nombre et la localisation des puits d'injection de CO<sub>2</sub>, voire des puits de production (d'eau salée ou de pétrole issus du réservoir). Les aspects économiques et réglementaires sont également à prendre en considération. La capacité à injecter à moindre coût énergétique la quantité de CO<sub>2</sub> voulue dans un site de stockage profond fait notamment partie à ce jour des limitations et des incertitudes technologiques qui restent à surmonter. C'est l'un des verrous que la R&D et les démonstrateurs doivent permettre de lever pour rendre le CSC plus attractif et sécurisé pour les acteurs économiques.

Il est plus facile d'estimer les capacités de stockage dans les réservoirs d'hydrocarbures déplétés, car ceux-ci sont des objets géologiques étudiés depuis longtemps et pour lesquels de nombreuses données sont donc disponibles, même si elles ne sont pas toujours publiques. Les aquifères salins profonds sont par contre moins bien connus car très peu explorés, en raison du fait qu'ils ne constituaient pas jusqu'à maintenant une ressource d'intérêt économique, si ce n'est là

où ils sont exploités pour la géothermie. D'où les larges incertitudes qui pèsent sur l'estimation des capacités de stockage du CO<sub>2</sub> dans les aquifères salins profonds et la nécessité d'avancer en la matière par étapes.

Dans son rapport spécial sur le captage, l'utilisation et le stockage du CO<sub>2</sub> (AIE, 2020), l'Agence internationale de l'énergie (AIE) indique que la capacité mondiale de stockage de CO<sub>2</sub> est estimée entre 8 000 et 55 000 Gt, la plus grande partie se situant sur les continents (de 6 000 à 42 000 Gt) et le reste en *offshore* (de 2 000 à 13 000 Gt). Le rapport indique que même l'estimation la plus basse (8 000 Gt) dépasse de très loin les 220 Gt de CO<sub>2</sub> qui devraient être stockées sur la période 2020-2070 selon le scénario de développement durable de l'AIE. Il s'agit de capacités théoriques et potentielles. D'importants efforts en matière d'exploration et de caractérisation du sous-sol sont donc encore nécessaires pour parvenir à des estimations plus précises. Dans son dernier rapport Net Zéro présentant un scénario permettant au secteur de l'énergie de parvenir à la neutralité carbone en 2050 (AIE, 2021), l'AIE indique que le volume de CO<sub>2</sub> à capter dans les cheminées d'usines et même dans l'air devra se situer à hauteur de 1,6 GtCO<sub>2</sub> par an en 2030 et de 7,6 GtCO<sub>2</sub> par an en 2050. L'AIE observe également que les estimations de la capacité mondiale de stockage sont considérablement supérieures à ce qui est nécessaire dans le scénario Net zéro pour stocker les quantités cumulées de CO<sub>2</sub> capté.

Une carte (voir la Figure 2 ci-dessous) dressant le panorama mondial des ressources de stockage géologique de CO<sub>2</sub> a été produite par le Global CCS Institute (2019) dans son rapport d'étape annuel, s'appuyant sur les données des pays où des estimations ont déjà été réalisées. Les chiffres indiqués correspondent à des capacités théoriques ou potentielles. Le rapport conclut qu'il est quasiment certain que de vastes ressources de stoc-

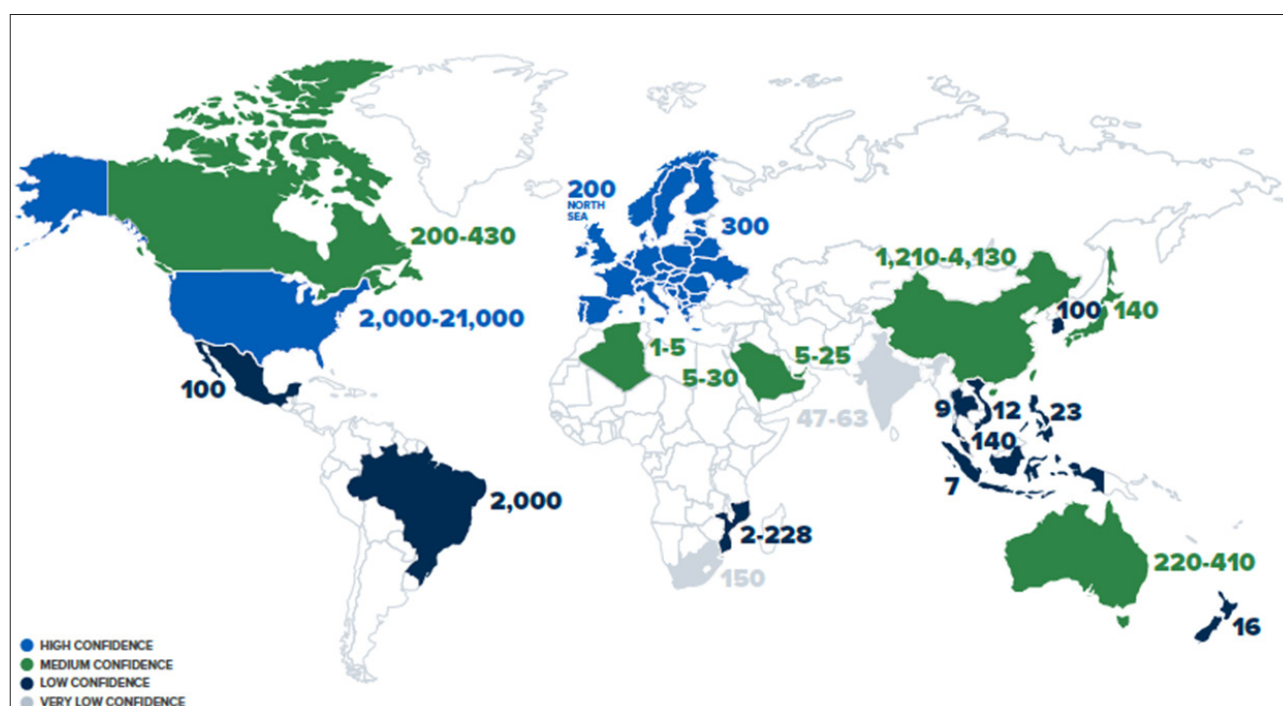


Figure 2 : Estimation des ressources de stockage géologique de CO<sub>2</sub> dans le monde (en GtCO<sub>2</sub>) – Source : Global CCS Institute (2019).

kage de CO<sub>2</sub> sont disponibles au niveau mondial, à un niveau compatible avec les scénarios du GIEC qui prévoient de stocker jusqu'à 1 200 Gt de CO<sub>2</sub> en cumulé d'ici à 2100.

En Europe, les capacités de stockage estimées sont de 300 GtCO<sub>2</sub>, dont 200 Gt sous la mer du Nord. Les deux-tiers des capacités de stockage seraient *offshore*, un tiers *onshore*. Ces données proviennent du projet de recherche européen EU Geocapacity (Vangkilde-Pedersen *et al.*, 2009). Ce projet donne également des estimations plus prudentes basées sur les valeurs basses pour les paramètres utilisés, ce qui correspond probablement à une image plus réaliste de la capacité de stockage disponible en Europe : un minimum de 117 GtCO<sub>2</sub> pourrait y être stocké, dont 96 Gt en aquifères salins profonds et 20 Gt dans des réservoirs d'hydrocarbures déplétés. Cette capacité minimale de 117 Gt correspond à 62 ans de stockage comparativement aux 1,9 MtCO<sub>2</sub> d'émissions annuelles provenant d'installations industrielles générant plus de 0,1 MtCO<sub>2</sub> par an.

Dans son dernier rapport d'étape, le Global CCS Institute (2021) indique que le Catalogue 2021 des ressources de stockage (Pale Blue Dot, 2021) comprend 715 sites documentés correspondant à 18 pays et totalisant 12 960 Gt de ressources de stockage. Celles-ci se décomposent de la façon suivante :

- 0,036 GtCO<sub>2</sub> déjà injectées et stockées, soit 36 Mt (les injections de CO<sub>2</sub> à des fins de RAH ne sont pas incluses) se répartissant ainsi :
  - 26 Mt en Norvège (Sleipner : 19 Mt, et Snøhvit : 7 Mt),
  - 5 Mt au Canada (Quest : 5 Mt, et Aquistore : 0,33 Mt),
  - 3 Mt aux États-Unis (Illinois Basin Decatur : 1 Mt, et Illinois ICCS : 2 Mt),
  - 1 Mt en Australie (Gorgon),
  - 1 Mt au Brésil.
- 0,217 GtCO<sub>2</sub> qui s'appêtent à être injectées dans des projets déjà approuvés dans ces mêmes pays (soit 217 Mt), un chiffre qui correspondrait à des capacités de stockage réalistes ;
- 551,110 GtCO<sub>2</sub> qui correspondraient à des capacités de stockage possibles ;
- 12 408,517 GtCO<sub>2</sub> qui équivaldraient à des capacités de stockage potentielles ou théoriques.

Cela montre qu'énormément de travail reste à faire pour explorer et caractériser finement les sites de stockage potentiels dans le monde afin d'en évaluer les capacités.

Une nouvelle initiative internationale vient d'être lancée par le Département de l'Énergie américain (US DOE) et le Forum ministériel sur l'énergie propre (CEM) pour améliorer les estimations mondiales des capacités de stockage. Un premier rapport, rendant compte d'un *workshop* organisé en septembre 2021 dans le cadre du programme IEAGHG (IEA Greenhouse Gas R&D Programme) est actuellement en préparation.

## Conclusion et perspectives

Beaucoup de travail reste à faire pour préciser les capacités de stockage dans le monde et préparer les futurs sites de stockage nécessaires à la concrétisation de projets de décarbonation d'installations industrielles et de captage du CO<sub>2</sub> dans l'air. Néanmoins, plusieurs verrous technico-économiques doivent encore être levés pour rendre le CSC très attractif pour l'atténuation du changement climatique.

### Mieux connaître et caractériser les potentiels de stockage

Il convient de continuer les efforts visant à mieux connaître et caractériser les potentiels de stockage qui sont *a priori* d'ampleur suffisante pour pouvoir absorber les émissions de CO<sub>2</sub> irréductibles, ce qui est nécessaire à l'atteinte de la neutralité carbone ; une action venant en complément du recours à d'autres leviers tels que l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables qui permettent de réduire à la source les émissions de CO<sub>2</sub>. Des atlas des capacités de stockage de CO<sub>2</sub> existent pour certains pays ou régions, notamment pour l'Amérique du Nord incluant le Canada, le Mexique et les États-Unis (Wright *et al.*, 2013), les États-Unis proprement dits (NETL, 2015), les régions australiennes du Queensland (Bradshaw *et al.*, 2009) et de l'Ouest (3D-GEO Pty Ltd., 2013), le Brésil (CEPAC, 2016), la Norvège (NPD, 2014), le Royaume-Uni (Bentham *et al.*, 2014), l'Espagne (Suárez *et al.*, 2014), l'Allemagne (Reinhold et Müller, 2011) et la Pologne (Wójcicki *et al.*, 2014). Le niveau de description de ces atlas est très variable, ils permettent néanmoins de donner de premières indications utiles pour identifier les zones de stockage potentielles, envisager de les raccorder à des lieux de captage du CO<sub>2</sub> *via* des réseaux de transport adaptés et, enfin, pour décider de lancer des investigations poussées afin de préparer la mise en œuvre du CSC là où c'est nécessaire.

Il n'existe pas encore d'atlas européen relatif au stockage du CO<sub>2</sub>, hormis la base de données CO<sub>2</sub>StoP (Poulsen *et al.*, 2014). Mais cet objectif est inscrit depuis 2017 dans la feuille de route du SET Plan, le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques, au titre de son action n°9 dédiée au captage, au stockage et à l'utilisation du CO<sub>2</sub>. Il n'y a guère eu d'avancées depuis, mais la version révisée de cette feuille de route, qui est en train d'être finalisée, insiste sur cet objectif visant à construire un atlas européen pour guider l'élaboration des stratégies de développement et de déploiement du CSC.

### Démontrer la viabilité technologique et économique de toute la chaîne CSC

Au-delà des sites de stockage à proprement parler, la viabilité technologique et économique de toute la chaîne CSC reste à démontrer tant du point de vue de son coût énergétique global que du coût économique de la tonne de CO<sub>2</sub> piégée. De ce point de vue, il semble plus raisonnable de concentrer les efforts sur les émissions résiduelles concentrées, qui sont plus faciles à piéger (ce qui est donc moins coûteux énergé-

tiquement), que sur le captage du CO<sub>2</sub> atmosphérique, qui est, par définition, dilué. Un point particulièrement critique semble également être la performance de l'injection qui mérite sûrement qu'on lui porte une attention soutenue en termes de R&D et de démonstration.

### Apprécier correctement le niveau de maturité technologique des solutions de stockage proposées

Les différents points évoqués précédemment éclairent la nécessité de disposer d'outils communs pour pouvoir apprécier correctement le niveau de maturité technologique des solutions de stockage proposées ; cela est d'autant plus essentiel que le processus de développement d'un site de stockage de CO<sub>2</sub> est long (de 5 à 10 ans entre les premières études et le début de l'injection) et requiert des investissements importants (campagnes sismiques, collecte d'échantillons, réalisation de forages de reconnaissance...). Une échelle SRL (Storage Readiness Level) a été récemment proposée de manière à pouvoir déterminer le degré de maturité du développement d'un site de stockage (Akhurst *et al.*, 2021). Elle s'inspire de l'échelle TRL (Technology Readiness Level) qui est bien connue de ceux qui souhaitent évaluer le niveau de maturité d'une technologie jusqu'à son intégration dans un système complet et jusqu'à son industrialisation. Elle doit favoriser le dialogue entre les différentes parties prenantes (pouvoirs publics, acteurs industriels, société civile), lequel est indispensable pour permettre l'émergence de projets concrets pertinents et acceptés.

## Bibliographie

3D-GEO Pty Ltd. (2013), "Western Australia carbon dioxide geological storage atlas: Geological Survey of Western Australia", Report 126.

AIE – Agence internationale de l'énergie (2020), "Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage", 174 pages.

AIE – Agence internationale de l'énergie (2021), "Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector", 224 pages.

AKHURST M. A., KIRK K. L., NEELE F., GRIMSTAD A., BENTHAM M. & BERGMOD P. (2021), "Storage Readiness Levels: communicating the maturity of site technical understanding, permitting and planning needed for storage operations using CO<sub>2</sub>", *Int. J. Greenhouse Gas Control* 110, 18 pages.

BACHU S., BONIJOLY D., BRADSHAW J., BURRUSS R., HOLLOWAY S. *et al.* (2007), "CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: methodology and gaps", *Int. J. Greenhouse Gas Control* 1(4), pp. 430-443.

BENTHAM M., MALLOWST., LOWNDES J. & GREENA. (2014), "CO<sub>2</sub> STORAGE Evaluation Database (CO<sub>2</sub> Stored). The UK's online storage atlas", *Energy Procedia* 63 (2014), pp. 5103-5113.

BRADSHAW J., BACHU S., BONIJOLY D., BURRUSS R., HOLLOWAY S., CHRISTENSEN N. P. & MATHIASSEN O. M. (2007), "CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: Issues and development of standards", *Int. J. Greenhouse Gas Control* 1(1), pp. 62-68.

BRADSHAW J. *et al.* (2009), *Queensland carbon dioxide geological storage atlas*.

CEPAC (2016), "Brazilian Atlas of CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage".

CSLF – Carbon Sequestration Leadership Forum (2007), "Estimation of CO<sub>2</sub> Storage Capacity in Geological Media", 43 pages.

CZERNICHOWSKI-LAURIOL I. (2020), « Captage et stockage du CO<sub>2</sub> : le puits de carbone géologique », *Comptes rendus Géoscience – Sciences de la Planète*, tome 352, n°4-5, pp. 383-399.

GIEC – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2005), "Carbon Dioxide Capture and Storage", rapport spécial, 443 pages.

Global CCS Institute (2019), "The Global Status of CCS: 2019", Australia, 84 pages.

Global CCS Institute (2021), "The Global Status of CCS: 2021", Australia, 79 pages.

GOODMAN A., HAKALA A., BROMHAL G., DEEL D., RODOSTA T., FRAILEY S., SMALL M., ALLEN D., ROMANOV V., FAZIO J., HUERTA N., McINTYRE D., KUTCHKO B. & GUTHRIE G. (2011), "US DOE methodology for the development of geologic storage potential for carbon dioxide at the national and regional scale", *Int. J. Greenhouse Gas Control* 5, pp. 952-965.

IEAGHG (in preparation), "Outcomes of the Virtual Workshop 'Global CO<sub>2</sub> Storage Capacity'", held on 21 September 2021.

NETL (2015), "Carbon Storage Atlas V", US Department of Energy.

NPD – Norwegian Petroleum Directorate (2014), "CO<sub>2</sub> Storage Atlas for the Norwegian Continental Shelf".

Pale Blue Dot (2021), "CO<sub>2</sub> Storage Resource Catalogue – Cycle 2 10365GLOB-Rep-02-03", 124 pages.

POULSEN N., HOLLOWAY S., NEELE F., SMITH N. A. & KIRK K. (2014), "Assessment of CO<sub>2</sub> storage potential in Europe (CO<sub>2</sub>-StoP)", Final Report, European Commission Contract, n°ENER/C1/154-2011-SI2.611598, 61 pages.

REINHOLD K. & MÜLLER C. (2011), "Speicherpotenziale im tieferen Untergrund – Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland", *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 74, pp. 9-27.

SPE-SRMS (2017), "CO<sub>2</sub> Storage Resources Management System", sponsored by the Society of Petroleum Engineers (SPE), 45 pages.

SUÁREZ DÍAZ I. & ARENILLAS GONZÁLEZ A. (2014), *Atlas de Estructuras del subsuelo susceptibles de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en España*, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), ISBN: 978-84-7840-935-8.

VANGKILDE-PEDERSEN T. *et al.* (2009), "EU GeoCapacity. Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide", Publishable final activity report, 37 pages.

WEI Y.-M., KANG J.-N., LIU L.-C. *et al.* (2021), "A proposed global layout of carbon capture and storage in line with a 2°C climate target", *Nat. Clim. Chang.* 11, pp. 112-118.

WÓJCICKI A., NAGY S., LUBAŚ J., CHEĆKO J. & TARKOWSKI R. (eds.) (2014), "Assessment of formations and structures suitable for safe CO<sub>2</sub> geological storage (in Poland) including the monitoring plans (Summary)", Report ordered by (Polish) Ministry of Environment, 165 pages.

WRIGHT R., MOURITS F., BELTRAN RODRÍGUEZ L. & DÁVILA SERRANO M. (2013), "The First North American Carbon Storage Atlas", *Energy Procedia*, vol. 37, pp. 5280-5289.