

PilotSTRATEGY

Compte rendu de la réunion du Groupe de réflexion "Adaptations et Territoire" tenue le 26 septembre 2023

Le document, et le résumé synthétique de 2 pages, sont publiés sur le site du projet PilotSTRATEGY : [\[https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions\]](https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions) – sélectionner **France** pour faire ouvrir une fenêtre "pop-up" et choisir les téléchargements.



Des éléments de ce compte rendu (traduits en anglais) constitueront, avec les rapports synthétiques espagnol et portugais, un livrable public du projet européen.

Claire Mays, animatrice
claire.mays@gmail.com
Pour l'équipe France
SYMLOG

Janvier 2024

Résumé synthétique de deux pages

Groupe de réflexion « Adaptations et Territoire » (GR AT)

Résumé synthétique de la 2^e réunion, Bailly-Carrois, 26 sept 2023



Le projet européen PilotSTRATEGY (2021-26), coordonné par le BRGM, répond aux objectifs de la transition verte. Les études menées doivent permettre de répondre à la question : oui ou non, peut-on développer un site pilote de **stockage géologique de CO₂** ? Les recherches en France portent sur une zone de 10 km² autour de Grandpuits (C.C. Brie nangissienne, 77-Seine-et-Marne).

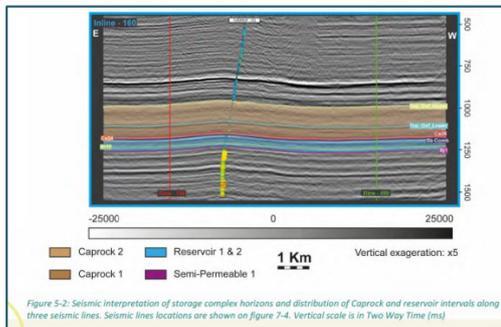
En France, le **Groupe de réflexion "Adaptations et Territoire" (GR AT)** rassemble les parties prenantes nationales et locales afin de les tenir informées de l'évolution du projet, de recueillir les points de vue de la communauté locale, de créer un réseau qui perdurera après le projet, et de travailler ensemble à la préparation d'une proposition réalisable pour le **CSC [capture et stockage du CO₂]**. La 2^e réunion du GR AT (26.03.2023) a abordé trois sujets, résumés ci-après.

A. La chronologie du projet, et du développement d'un site pilote de stockage souterrain de CO₂.

PilotSTRATEGY (2021-26) collecte les données et élabore les analyses et les modèles d'une qualité et d'un niveau de détail qui leur permettent de servir de base, le cas échéant, à la construction future d'un **site pilote** de stockage de CO₂. Cette dernière étape ne serait pas menée par le BRGM mais par toute entreprise publique ou privée qualifiée, sous réserve d'obtenir au préalable un **permis de recherche**. Une phase pilote constitue un essai à grandeur réelle : construire un puits d'injection et le tester avec une injection dans le sous-sol de CO₂, limitée à un volume de 100 000 tonnes sur la durée accordée. L'évaluation du pilote vérifie si le test s'est bien déroulé, sans incident et comme prévu selon la modélisation fournie par PilotSTRATEGY. Si l'essai est concluant, l'entreprise ou le partenariat qui le développe pourra déposer une **demande de concession** pour procéder à une injection de CO₂ à une échelle commerciale. Ce processus décisionnel par ces étapes scientifiques et légales à respecter, permet de vérifier le bon déroulé et la conformité de la démarche.

B. La connaissance du sous-sol ; retour sur la campagne de mesures menée en 2022.

L'IFPEN, partenaire du projet, présente des images obtenues à partir des mesures géophysiques, lesquelles ont permis de construire un modèle complexe et détaillé du sous-sol de Grandpuits.



Représentation du sous-sol à Grandpuits : [Rapport PilotSTRATEGY D2.7](#)

En bleu : une strate de roche (oolite blanche) d'environ 150m d'épaisseur. Sa profondeur (moins 1.600 à moins 1.800 m) est intéressante pour établir un réservoir de CO₂. Le gaz injecté sous pression et donc sous forme liquide peut pénétrer et rester dans les très petits espaces au sein de la roche (pores), connectés entre eux (perméabilité). **En marron**, juste au-dessus : une couche au moins deux fois plus épaisse (environ 300m ou davantage), composée de marnes de Massigny. On l'appelle « cap rock », une « roche couverture » plus dense, peu poreuse et imperméable, qui empêche la circulation de fluides vers le haut. Ce sont des éléments favorables pour le confinement du CO₂.

Question posée en séance : Des voies d'échappée du CO₂ vers la surface pourraient-elles se former ? **Réponse** : Non, c'est très improbable. Vue la superposition des couches observée, seule une faille pourrait offrir une telle voie ; cependant le bassin parisien, et la zone, sont libres de failles et stables (caractérisés par une très faible sismicité).

Tous les documents relatifs au GR AT sont disponibles en ligne :

[\[https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions\]](https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions)

Sélectionner France pour choisir les téléchargements.



PilotSTRATEGY has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme grant n°101022664



@PilotSTRATEGY
www.pilotstrategy.eu
Page 1/2



C. Sécurité du stockage ; identification des impacts, réduction et gestion de risques.

Les chercheurs du BRGM présentent la logique et la démarche suivies pour effectuer une **évaluation prévisionnelle de la sécurité et de la performance** d'un stockage géologique de CO₂. Son objectif : assurer qu'un stockage, dans les conditions d'opération qui sont proposées, ne présente aucun risque pour la santé et pour l'environnement.

Alors qu'il n'y a pas de stockage de CO₂ en France actuellement, des cas réels (y compris les nombreux sites de stockage géologique de gaz naturel) permettent un retour d'expérience. Une étude dédiée de sécurité est menée pour chaque projet afin de bien prendre en compte le contexte du site envisagé.

Les caractéristiques mises en évidence par les études et les modèles géologiques sont évalués dans une perspective stratégique : la roche « couverture » peut-elle effectivement jouer son rôle de confinement ? La stabilité du milieu géologique est vérifiée. L'imperméabilité des puits de forage existants est évaluée. Des scénarios de construction et d'opération du stockage sont examinés, en posant systématiquement les questions : qu'est-ce qui pourrait se passer d'imprévu ? Quelle en est la probabilité ? Quelles pourraient être les conséquences ? Quelles actions préventives ou remèdes mettre en place pour réduire la probabilité et/ou les conséquences ?

La présentation aborde également le strict encadrement réglementaire européen et français, et les processus décisionnels. Les conditions et obligations d'octroi de permis de recherche ou d'exploitation sont évoquées. Notamment, un plan de surveillance doit être élaboré dès le départ, concernant aussi bien la période de remplissage du stockage que la période post-fermeture (une fois l'injection de CO₂ terminée). Lorsqu'un pilote ne se conforme pas aux attentes inscrites dans le dossier, un exploitant ne demande pas de dérogation ; au contraire il retourne aux études pour solutionner les écarts.

Parmi les **remarques des parties prenantes** entendues lors de cette réunion du GR AT, sont celles :

- d'un **ministériel**, concernant la décarbonation de l'industrie ;
- d'un **industriel**, concernant les alternatives de production en vue de réduire les émissions de CO₂ ;
- d'un **élu**, concernant le besoin de données comparatives pour éclairer la décision territoriale.

Rapport complet sur la réunion ; suite des travaux par les parties prenantes ; possibilité de participer

Le rapport complet de cette réunion du GR AT trace les débats en détail ; il est disponible en ligne avec les diapositives présentées par les intervenants : <https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions>.

Les personnes qui souhaitent approfondir les questions abordées par le GR AT et ajouter leur voix aux débats, sont invitées à prendre contact avec l'équipe (voir ci-dessous). La prochaine réunion aura lieu le 16 mars 2024.

A cette date, les sujets à aborder pourront intéresser particulièrement les agriculteurs, les riverains et les associatifs :

1. **Adaptation au changement climatique : Qu'apprend-on du rapport du GIEC ?** par un membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), chercheur au BRGM.
2. **Applications du CSC dans l'industrie et l'agriculture** (émissions des usines, des méthanisateurs...) pour réduire les émissions nettes ou obtenir des émissions « négatives ».
3. **Elaboration et priorisation des critères d'emplacement de tête de puits d'injection du CO₂**, travail participatif avec des ingénieurs de Geostock.

Pour participer au GR AT en 2024-26, ou pour recevoir des invitations à des réunions publiques ponctuelles, veuillez contacter :

Claire MAYS, Institut Symlog de France

claire.mays@post.harvard.edu

Animatrice du GR AT pour l'équipe France de PilotSTRATEGY



@PilotSTRATEGY
www.pilotstrategy.eu
Page 2/2



Sommaire

Résumé synthétique de deux pages.....	2
0. Introduction générale	5
1. Réunion du 26.09.23 : Sujets abordés et parties prenantes	6
2. Synthèse des travaux	7
2.1 Chronologies du projet et d'une action pilote.....	7
2.2 La connaissance du sous-sol	9
2.3 Sécurité du stockage	11
3. Evaluation et suivi.....	13
Annexe I : Ordre du jour de la réunion du 26 septembre 2023 et correspondance avec les sujets choisis par les parties prenantes.....	16
Annexe II : Trace détaillée de la discussion « Connaissance du sous-sol ».....	18
Annexe III : Trace détaillée de la discussion « Risques et Sécurité »	21

Figures :

<i>Fig. 1 – Chronologie du projet PilotSTRATEGY</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 2 – Représentation du sous-sol à Grandpuits, France, obtenue par interprétation sismique. Tirée du livrable PilotSTRATEGY D2.7.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3 – Information sur les sites de stockage de gaz et hydrocarbures en France dont TROIS-FONTAINES (fléché et entouré en rouge).....</i>	<i>14</i>

0. Introduction générale

Le **Groupe de réflexion "Adaptations et Territoire" (GR AT)** est organisé par l'équipe France du projet européen [PilotSTRATEGY](#), représentée par les partenaires Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et SYMLOG. Il s'agit d'un dispositif participatif de recherche et de dialogue, mis en œuvre en parallèle en Espagne, au Portugal et en France. Ce sont les trois pays dans lesquels une caractérisation de site est menée en vue de comprendre les conditions (physiques, environnementales, socio-économiques) permettant l'application la technologie du captage et le stockage géologique de **gaz carbonique (CO₂)**¹.

Le projet désigne les groupes sous le nom de "comité régional de parties prenantes" et la description suivante est donnée par une collègue portugaise : "L'objectif est de rassembler les parties prenantes nationales et locales afin de les impliquer dans le projet, de recueillir les points de vue de la communauté locale, de créer un réseau qui perdurera après le projet, de travailler ensemble à la préparation d'une proposition réalisable pour le **CSC [captage et stockage du CO₂]** dans [une région donnée], et de les tenir informées de l'évolution du projet." ^{2, 3}

En France, la désignation "Groupe de réflexion" est retenue pour mieux transmettre le caractère de recherche et éloigner toute fausse notion de mandat décisionnel. Les objectifs spécifiques du GR AT sont présentés dans le [rapport de synthèse de la première réunion](#) (tenue en ligne le 10 mars 2023).

Comment participer au Groupe de réflexion ? Sa composition reste ouverte et les personnes souhaitant suivre directement ses travaux sont encouragées à se signaler. La prochaine réunion aura lieu le **16 mars 2024** (voir la partie 3 du présent document). Le projet PilotSTRATEGY étudie en France une zone de 10 km² autour de Grandpuits, dans la Brie nangissienne, en Seine-et-Marne (77). Les membres du Groupe de réflexion sont les parties prenantes, au sens large, du projet :

- Riverains, agriculteurs, propriétaires, entrepreneurs et autres citoyens de la zone étudiée ; élus locaux ; représentants d'associations (de protection de l'environnement ; de commerçants ; ou d'entreprises), au niveau local, régional, ou national ; industriels.
- Représentants de l'Etat et des administrations en charge de l'autorisation et de la surveillance de travaux autour du stockage souterrain du CO₂ ; représentants de l'Etat en charge de la promotion du stockage de CO₂ dans le cadre de la politique française de décarbonation des industries.
- Représentants des industries locales, partenaires du projet (dont Vermilion Energy).

Enfin, les chercheurs sont présents pour partager leurs travaux et pour se mettre à l'écoute. Tous ces participants s'efforcent à un échange égalitaire et vivant autour des questions, réflexions, et préoccupations inspirées par ce projet de recherche, et tous ont accepté le principe du respect de la confidentialité des données personnelles dans le cadre de ce projet européen.⁴

¹ [Les objectifs de PilotSTRATEGY](#) sont décrits sur le site Internet du projet. Une fiche de présentation courte du projet est [disponible en français](#).

² A. Delicado, U. de Lisbonne, citée ici : <https://pilotstrategy.eu/news/pilotstrategy-reaches-out-stakeholders>.

³ A noter, l'abréviation anglophone « CCS » est utilisée interchangeablement avec « CSC » au cours de la réunion. « CCS » et « CCUS » sont retenus par les Ministères de la transition énergétique et de l'industrie (voir la [Consultation Stratégie CCUS](#), juin 2023).

⁴ Soit, selon l'**engagement de confidentialité** : chacun peut partager en toute liberté les contenus discutés par le Groupe de réflexion, mais n'identifie pas les intervenants (noms, appartenances) en dehors des réunions.

1. Réunion du 26.09.23 : Sujets abordés et parties prenantes

La deuxième réunion du Groupe de réflexion "Adaptations et Territoire" se déroule en présentiel le 26 septembre 2023 sur une durée de trois heures. La salle de fêtes à Bailly-Carrois (77) a été mise à disposition par la Mairie à la demande de l'équipe projet, pour faciliter la participation des citoyens.

L'introduction par SYMLOG souhaite la bienvenue aux participants⁵, et présente l'ordre du jour (cf. Annexe I). Le programme est établi à partir de thèmes identifiés lors de la précédente réunion (mars 2023). Trois sujets seront abordés :

- a) La chronologie du projet PilotSTRATEGY, et du développement d'un site pilote de stockage souterrain de CO₂.
- b) La connaissance du sous-sol ; retour sur la campagne de mesures menée dans la Brie nangissienne.
- c) Risques et sécurité ; identification des impacts, moyens de réduction et de gestion de risques.

Un rapide tour de table permet de se présenter. Treize parties prenantes sont présentes, avec des profils variés : des élus, des agriculteurs, des personnes associées à des ONG régionales de protection de l'environnement. L'industrie lourde locale est également présente (dont des responsables d'une entreprise qui capte actuellement le CO₂ issu de son procédé industriel). L'administration nationale est représentée par un fonctionnaire directement concerné par le dossier CSC (captage et stockage du carbone). Six chercheurs du projet sont présents. Enfin, deux agents du BRGM (sans tâches spécifiques dans PilotSTRATEGY) sont présents au titre de partie prenante.

Aussi ce rapport de synthèse ne nomme que les intervenants directement associés au projet, et ne fait allusion aux catégories de rôle public que lorsque cela éclaire le propos.

⁵ L'invitation a été envoyée par email à partir de juillet 2023 aux personnes ayant signalé leur intérêt pour participer à la première réunion virtuelle (mars 2023), ou lors de présentations ultérieures : l'événement public « portes ouvertes » tenu à Grandpuits-Bailly-Carrois en juin 2023, et une présentation organisée pour des salariés d'industrie.

2. Synthèse des travaux

Les interventions sont ici résumées, avec en annexe le détail des débats.

2.1 Chronologies du projet et d'une action pilote

Fernanda Veloso (BRGM), chef d'équipe France et coordinatrice du projet européen PilotSTRATEGY dans son ensemble, présente les étapes du projet de recherche et répond aux questions concernant les étapes théoriques d'un site pilote de stockage.

Ce projet soutenu par la Commission européenne répond à la politique publique de transition verte. PilotSTRATEGY mène les études afin de réunir, à l'horizon 2026, toutes les données permettant de répondre à la question : oui ou non, peut-on développer un site pilote de stockage géologique de CO₂ dans la région de Grandpuits ? La collecte de données, les analyses et les modèles sont d'une qualité et d'un niveau de détail qui leur permettent de servir de base, le cas échéant, à la construction d'un site pilote de stockage de CO₂. Cette dernière étape ne serait pas menée par le BRGM mais par toute entreprise publique ou privée qualifiée, et devrait obligatoirement faire l'objet d'une demande préalable de permis.

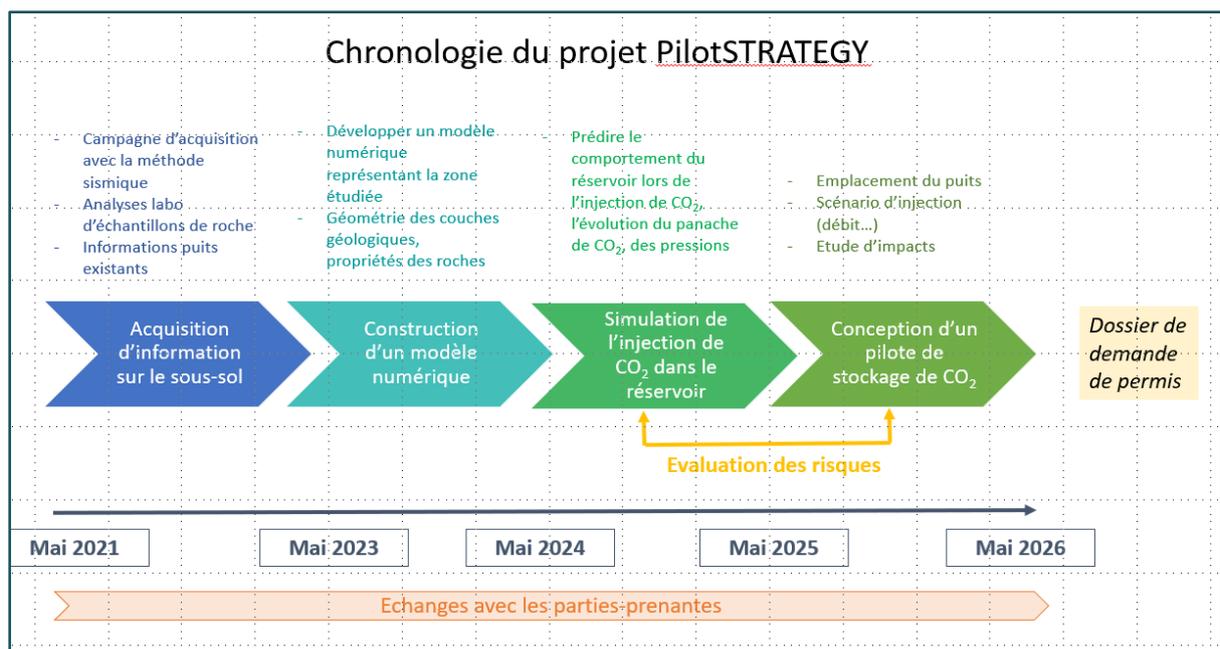


Figure 1. Chronologie du projet PilotSTRATEGY.

La figure 1 indique que jusqu'à présent, le projet a collecté des mesures physiques réelles qui permettent de modéliser le sous-sol, de développer des scénarios de stockage, et prochainement de créer des simulations numériques d'injection du CO₂ dans les réservoirs identifiés en sous-sol. En parallèle, on aborde l'étude de la partie surface : des études technico économiques, de faisabilité, de stockage temporaire en surface, et de critères d'emplacement du puits d'injection. Dans le même temps, on fait une analyse de la sécurité et des risques. (Les résultats des mesures pour modéliser le

sous-sol, et la démarche d'évaluation de la sécurité et des risques, sont présentés dans cette réunion par les chercheurs.)

Pendant toute la durée du projet, des échanges sont menés avec les parties-prenantes : les acteurs administratifs et industriels, les membres du GR AT, les citoyens qui se déplacent pour les Portes ouvertes, les élèves des lycées, etc. Des études en sciences sociales sont également menées : par exemple, des sondages régionaux des perceptions du CSC et des politiques publiques⁶.

Les étapes suivantes ne sont pas effectuées en France par PilotSTRATEGY. Une phase pilote constitue un essai à grandeur réelle, régi par un **permis de recherche**. Il s'agit de construire un puits d'injection et de le tester avec une injection de CO₂, limitée à un volume de 100 000 tonnes sur la durée accordée. L'évaluation vérifie si le test s'est bien déroulé, sans incident et comme prévu selon la modélisation fournie par PilotSTRATEGY. Si le test est concluant, l'entreprise ou le partenariat qui le développe pourra déposer une **demande de concession** pour procéder à une injection de CO₂ à une échelle commerciale. Ce processus décisionnel par ces étapes scientifiques et légales à respecter, permet de vérifier le bon déroulé et la conformité de la démarche.

PilotSTRATEGY est un projet de recherche et c'est aussi une démonstration des études qu'il convient de mener lorsqu'on envisage l'application de cette technologie en France et en Europe. L'étape « demande de permis » est marquée sur la figure 1 en dehors du temps du projet pour marquer cette distinction. Cependant, une demande de permis dans le temps du projet faciliterait la transmission d'informations et le soutien au développement du dossier technique et scientifique à présenter à l'administration.

Une question est posée : « Y a-t-il autant de volonté pour la recherche sur la valorisation du CO₂ ? »

Réponse : Ce domaine de recherche existe bel et bien. On parle de « CUSC » (captage, utilisation, stockage de carbone ; CCUS en anglais). Aujourd'hui une partie du CO₂ capturé par les usines est utilisée sous une forme très pure, liquéfiée, dans l'industrie alimentaire. Un projet du BRGM co-financé par la région Centre-Val de Loire⁷ étudie la valorisation dans des serres du CO₂ capté d'un cogénérateur biomasse. Les extincteurs d'incendie utilisent le CO₂ ; quelques plastiques sont fabriqués à partir de CO₂.

D'autres types de stockage existent : en cimenterie, une partie du CO₂ est mélangé aux agrégats incorporés au béton.

Ces utilisations et procédés sont intéressants économiquement mais leur impact est insuffisant pour résoudre le problème climatique d'émissions et d'accumulation de gaz de serre. Dans la neutralité carbone qui est prévue pour 2050, il restera toujours entre 15 et 20 % des émissions de CO₂, même avec la réduction des émissions et la réutilisation du CO₂. Le stockage dans des réservoirs souterrains est nécessaire pour faire face aux émissions qu'on ne pourra pas annuler.

Dans cette optique du long terme, pour le dispositif de captage et de stockage, on commence aujourd'hui par le CO₂ industriel concentré à la sortie de l'usine, et demain on pourra séquestrer le

⁶ Les résultats des sondages du public, réalisés dans trois pays du projet sont présentés en anglais dans une publication scientifique : Wesche, J. et alia, *CCUS or no CCUS? Societal support for policy frameworks and stakeholder perceptions in France, Spain, and Poland*. Greenhouse Gases: Science and Technology, volume 13, n°1, 02/2023. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ghg.2195>

⁷ Projet CO₂SERRE. <https://www.brgm.fr/fr/solutions/captage-stockage-valorisation-co2> ; https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4286095

CO₂ biogénique provenant des méthaniseurs (40 % de CO₂ pour 60 % du biométhane), des chaufferies biomasse, et autres.

2.2 La connaissance du sous-sol

La première présentation-débat centre sur la **connaissance du sous-sol** : les représentations « personnelles » ou celles formées par les mesures scientifiques et techniques. *La trace détaillée des discussions est présentée en Annexe II.*

Cette partie est animée par A-B. Christ et L. Mattioni, deux ingénieurs-géologues de l'IFP Energies nouvelles. L'IFPEN est un organisme public de recherche et d'innovation doublé d'un groupe industriel, avec un champ d'action international dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du transport. Ce partenaire intervient dans le projet PilotSTRATEGY en collaboration avec le BRGM pour créer un modèle géologique du sous-sol. *Les diapositives présentées par l'IFPEN sont [disponibles en ligne](#).*

La discussion porte dans un premier temps sur la manière dont chacun imagine le sous-sol. Les images proposées – qui relèvent de l'imaginaire, de l'expérience, ou des diverses expertises présentes dans le groupe – sont variées. Ces images du sous-sol sont exactes ou inexactes. Quoi qu'il en soit, elles forment un cadre qui intervient tacitement lorsqu'on aborde la question du stockage souterrain du CO₂. L'IFPEN partage des connaissances qui permettent d'approfondir et d'affiner la représentation du sous-sol.

Notamment, il est question de la présence de l'eau dans le sous-sol :

- Certains évoquent des images de rivières souterraines, ou de sources qui alimentent la nappe phréatique.
- Cependant, les connaissances géologiques précisent que dans les couches géologiques profondes, la nappe n'a pas la forme d'un lac souterrain : l'eau est présente dans les pores de roches. Ces pores se mesurent en nanomètres (soit, en milliardièmes de mètre) aussi l'eau ne s'écoule pas rapidement dans ces espaces.

Les agriculteurs pour leur part évoquent la présence souterraine de drains céramiques :

- Il s'agit d'une pratique ancienne d'un siècle, voire plus, qui consiste en l'installation de « tube » en « subsurface » à environ 1,60 m de profondeur dans les sols agricoles pour les drainer.
- Les géologues en revanche se réfèrent pour PilotSTRATEGY à des profondeurs de deux kilomètres, et à des couches ou strates de roches formées au cours de centaines de millions d'années.

Pour rendre plus concrète la discussion, l'IFPEN fait passer des échantillons réels de roche (de type oolite blanche poreuse, ou marne très compacté), pertinents pour la zone étudiée.

Dans un deuxième temps, l'équipe de l'IFPEN présente des images graphiques obtenues à partir des mesures physiques, collectées ou analysées par PilotSTRATEGY. Trois types d'information sont rassemblés afin de construire un modèle complexe et détaillé du sous-sol de Grandpuits, et expliqués dans la présentation très interactive faite par l'IFPEN :

- Les données obtenues par réflexion sismique (une échographie du sous-sol pratiquée avec des ondes très faibles ; campagne PilotSTRATEGY achevée en 2022) ;

- Les informations sur la structure du bassin parisien (observation des affleurements de roches ; études nombreuses et de longue date) ;
- Les données disponibles sur les puits de la zone : diagraphies (enregistrements géophysiques réalisés au cours du forage) ; échantillons sur des carottes.

Les mesures montrent que cette partie du bassin parisien est bien organisée, avec des strates de roches bien horizontales ; elle est stable et sans failles ni ruptures notables. Il s'agit de caractéristiques favorables pour envisager un réservoir souterrain.

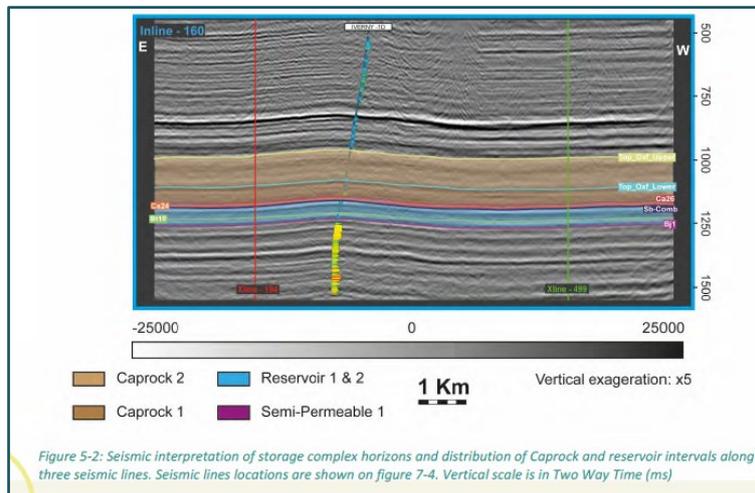


Figure 2. Représentation du sous-sol à Grandpuits, France, obtenue par interprétation sismique. Tirée du livrable PilotSTRATEGY D2.7⁸

La Figure 2 permet de résumer les informations et la démarche de modélisation, détaillées pour le GR AT par A-B. Christ et L. Mattioni (voir aussi l'Annexe II, et l'affiche synthétique remise à la Mairie).

- *En bleu*, on constate une strate ou couche de roche d'environ 150m d'épaisseur, à la profondeur (-1.600 à -1.800 m) qui peut être intéressante pour établir un réservoir de CO₂. Il s'agit d'oolite blanche. Les mesures physiques, plus des connaissances existantes, permettent d'établir la porosité et la perméabilité des roches de cette zone réservoir. C'est dans les très petits espaces au sein de la roche (pores), connectés entre eux (perméabilité), que le CO₂ injecté sous pression et donc sous forme liquide, peut pénétrer et rester.
- *En marron*, juste au-dessus se voit une couche au moins deux fois plus épaisse (environ 300m ou davantage), composée de marnes de Massigny. On l'appelle « cap rock », une « roche couverture » plus dense, peu poreuse et imperméable qui empêche la circulation de fluides vers le haut. C'est donc un élément favorable pour le confinement du CO₂.
- *En jaune*, on constate pour mémoire la présence d'un ancien puits de forage.

Cette présentation-débat a également permis d'aborder certaines idées de risque :

- **Question** : Des voies d'échappée du CO₂ vers la surface pourraient-elles se former ?
Réponse : Non, c'est très improbable. Etant donné la superposition des couches observée, seule une faille pourrait offrir une telle voie ; cependant le bassin parisien, et la zone précise étudiée, sont libres de failles et sont stables (caractérisés par une très faible sismicité).

⁸ « Deliverable 2.7, Geological Models. Annex : Paris Basin – Grandpuits France, » préparé par A. Bordenave et B. Issautier (7/2023). Rapport public en anglais, disponible en ligne :

https://pilotstrategy.eu/sites/default/files/2023-08/Deliverable_2.7_ParisBasin_Annex.pdf

- **Question** : Le gaz carbonique est-il explosif ? **Réponse** : Non.

2.3 Sécurité du stockage

La présentation-débat qui suit est centrée sur la connaissance et la maîtrise des risques, et la sécurité du stockage. *La trace détaillée des discussions avec les parties prenantes est présentée en Annexe III.*

La séquence est animée par I. Gravaud, ingénieur du BRGM, qui présente la logique et la démarche suivies pour effectuer une évaluation prévisionnelle de la sécurité et de la performance d'un stockage géologique de CO₂. *Les diapositives préparées par le BRGM sont [disponibles en ligne](#).*

La présentation-débat aborde l'objectif de cette évaluation prévisionnelle : assurer qu'un stockage, dans les conditions d'opération qui sont proposées, ne présente aucun risque pour la santé et pour l'environnement.

Alors qu'il n'y a pas de stockage de CO₂ en France actuellement, des cas réels (y compris de stockage de gaz naturel) permettent un retour d'expérience. Une étude dédiée de sécurité est menée pour chaque projet afin de bien prendre en compte le contexte du site envisagé.

Les caractéristiques mises en évidence par les études et les modèles géologiques sont évalués dans une perspective stratégique : la roche « couverture » peut-elle effectivement jouer son rôle de confinement ? La stabilité du milieu géologique est vérifiée. L'imperméabilité des puits de forage existants est évaluée. Des scénarios de construction et d'opération du stockage sont examinés, en posant systématiquement les questions : qu'est-ce qui pourrait se passer d'imprévu ? Quelle en est la probabilité ? Quelles pourraient être les conséquences ? Quelles actions préventives ou remèdes mettre en place pour réduire la probabilité et/ou les conséquences ?

La présentation aborde également le strict encadrement réglementaire européen et français, et les processus décisionnels. Les conditions et obligations d'octroi de permis de recherche ou d'exploitation sont évoquées, dont notamment l'élaboration d'un plan de surveillance prévu dès le départ, concernant aussi bien la période de remplissage du stockage que la période post-fermeture (une fois l'injection de CO₂ terminée). Lorsqu'un pilote ne se conforme pas aux attentes inscrites dans le dossier, on ne demande pas de dérogation, mais au contraire on retourne aux études pour solutionner les écarts.

Les parties-prenantes introduisent des questions concernant les éventuelles nuisances ou autres risques liés au développement d'un stockage :

- **Question** : Un afflux de transport routier ?
Réponse : L'installation pilote qui pourrait être développée sur la base des études PilotSTRATEGY n'a pas vocation de recevoir le CO₂ de la France entière, mais serait dimensionnée en fonction du permis de recherche limitatif (100 000 tonnes de CO₂ maximum).
- **Question** : Une exposition au gaz carbonique ?
Réponse : Une éventuelle (si peu probable) fuite vers l'atmosphère est peu susceptible d'engendrer des teneurs nocives en CO₂.

Des sujets et préoccupations diverses sont abordés avec intelligence. Des remarques particulières de quelques parties-prenantes peuvent être citées :

Remarque d'un ministériel – La décarbonation de l'industrie

« Le CSC, c'est la possibilité de maintien d'une activité industrielle dans la région. Un industriel qui émet du CO₂ pour son processus de production doit verser une taxe calculée par tonne de CO₂. Suite à l'arrêt programmé des compensations en 2034, le montant de la taxe sera beaucoup plus élevé. »

Les industriels pourront alors maintenir leur activité s'ils ont trouvé des solutions pour diminuer leurs émissions et aussi pour maîtriser ce coût lié aux émissions inévitables.

« Le CSC fait partie des stratégies portées par le gouvernement car cela permet de diminuer drastiquement le bilan carbone dans certains secteurs (exemple : la chimie). Dans le cadre de France 2030 et des appels à projets de décarbonation, le financement sera conditionné au fait d'inscrire le captage et stockage de carbone dans une logique de décarbonation plus globale du site et du groupe, qui fait appel aussi à d'autres leviers. »

Remarque d'un industriel – Les alternatives de production en vue de réduire les émissions de CO₂

« En regardant l'avenir à quinze ou 20 ans, de nombreuses pressions poussent à réfléchir à des alternatives de production. Pour un industriel, il faudra chiffrer les budgets et évaluer les deux alternatives – captage/stockage, et modification de processus.

Le CSC n'est pas un investissement perdu, puisque en l'appliquant l'industrie aura le temps de modifier progressivement la production, en fonction de la disponibilité des infrastructures et des ressources nécessaires (électricité, eau...). Ensuite la solution restera de toute façon pérenne, car la neutralité carbone en 2050 obligera à capter les émissions de CO₂ qui resteront même dans le cadre des processus modifiés. »

Remarque d'un élu – Les données comparatives pour éclairer la décision territoriale

Dans la perspective de la concertation territoriale, certaines données comparatives intéressent les élus. Soit :

- A l'instant T, quel est le volume d'émission de CO₂ sur le territoire ?
- Quel pourcentage du CO₂ émis serait séquestré dans le stockage géologique ?

« La décision collective va être impacté aussi là-dessus, que ce soit les élus ou les administrés. D'ailleurs, si vous expliquez aux administrés que du coup il y a une pollution qui diminue au niveau du secteur, ça peut être aussi un argument pour avoir une acceptation du projet par lui-même. Nous, en tant qu'élus, pour pouvoir prendre une décision qui abonderait éventuellement dans votre sens ou qui irait en contre sens, on a besoin d'avoir une donnée comparative. Qu'est-ce que ces solutions-là apportent pour notre territoire ? Si sur notre territoire vous arrivez à nous prouver qu'on a effectivement une réduction de tant ou tant % par rapport aux émissions, cela peut être un argument qui peut éventuellement convaincre. »

3. Evaluation et suivi

Après la réunion en face-à-face, les participants ont la possibilité d'effectuer anonymement une évaluation en ligne. Sur 13 parties-prenantes, 11 personnes ont partagé leur opinion, plus un chercheur qui découvrait le GR AT et a voulu s'exprimer. Ainsi les réponses totalisent 12.

La grande majorité a trouvé intéressante (6 « absolument », 4 « oui ») la discussion. Deux personnes l'ont trouvé modérément intéressante.

Une majorité encore plus forte estime qu'elle a pu s'exprimer lors de la réunion (7 « absolument » ; 3 « oui »). Une personne répond « modérément » alors qu'une dernière personne en revanche répond « pas du tout ».

Les participants sont très satisfaits (7) ou satisfaits (4) que les chercheurs n'ont pas cherché à promouvoir un point de vue unique sur les enjeux se rapportant au CSC. Une personne en revanche estime cette promotion faite.

Sur les divers éléments de la réunion, nombre sont appréciés. La présentation-débat « connaissance du sous-sol » et « les échanges libres en fin de réunion » se distinguent en particulier.

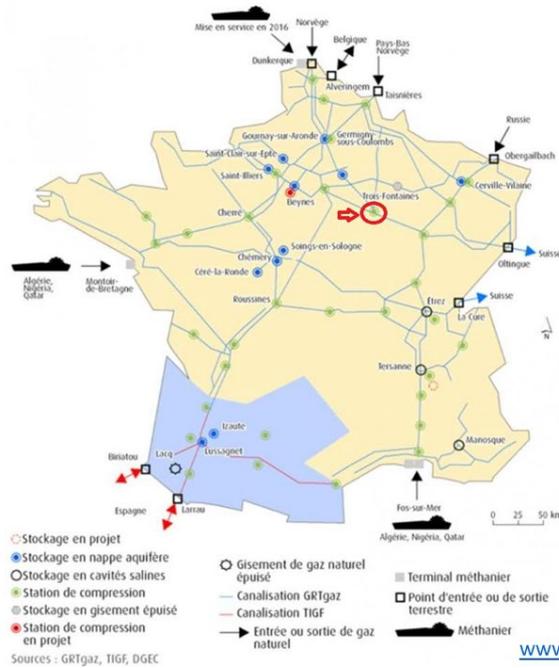
Les participants ont la possibilité aussi de désigner l'élément le moins apprécié. A nouveau les avis sont divers, mais le « rituel des deux mots à retenir » en quittant la réunion ressort comme impopulaire (la consigne étant respectée plus, ou moins, par les participants). Les remarques libres sont à noter :

- *Tout était appréciable.*
- *Je refuse la question.*
- *Taille de l'écran de présentation.*
- *L'absence de citoyens non élus et en activité.*

Dix sur treize ont aimé participer à ce Groupe de réflexion (dont 8 « absolument ») ; une personne répond « modérément » alors qu'une personne n'a « pas du tout » aimé. Dix personnes souhaitent « absolument » participer à la suite, une personne modérément, et à nouveau, une personne « pas du tout ».

Des remarques supplémentaires sont partagées ; nous y intercalons des réponses :

- ❖ *Habitant de Grandpuits =la sécurité et ne changez pas d'équipe.*
- ❖ *Très bien !*
- ❖ *Je vous envoie séparément quelques réflexions sur cette réunion.*
- Une réponse consistante a été faite par les scientifiques du BRGM au participant-expert qui a posé quelques questions techniques par écrit. Cette personne est bien entendu libre de partager ce document, notamment dans son réseau associatif.
- ❖ *Comment se situe le stockage de gaz à CLOS FONTAINE par rapport au projet de stockage de CO₂ ?*
- Il s'agit d'une erreur commise à l'oral ; le stockage de gaz naturel en question se situe à **TROIS FONTAINES** (voir la Figure 3) :



Les sites de stockage géologiques

Stockage de Gaz et Hydrocarbures

- En France, il existe actuellement 23 sites de stockage souterrain de gaz naturel ou d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés
- Ce sont les stockages de gaz naturel en aquifères qui sont les plus nombreux
- Le premier d'entre eux, celui de Beynes (Yvelines), date de 1956
- 13 sont en service actuellement (2016) pour un volume utile total voisin de 11 milliards de m³.

<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/ineris-dossier-ref-stockage-souterrain.pdf>

www.ecologie.gouv.fr/securite-dapprovisionnement-en-gaz

Figure 3 – Information sur les sites de stockage de gaz et hydrocarbures en France dont TROIS-FONTAINES (fléché et entouré en rouge)

- ❖ La réunion était dense beaucoup d'infos techniques, peut-être réduire le nombre de sujets
- ❖ Quels sont le calendrier et les objets pour les différentes présentations jusqu'en 2026, date annoncée pour le terme de l'étude "PilotSTRATEGY".

- Au vu des remarques précédentes, la prochaine réunion aura lieu un **samedi matin de 10 à 12h, le 16 mars 2024** (et non pas un mardi après-midi), à **Grandpuits-Bailly-Carrois**. **Tous les membres du GR AT sont invités et encouragés à partager cette invitation avec leur entourage, en recherchant la participation de citoyens en activité.**

Les sujets à aborder jusqu'en 2026 seront programmés au fur et à mesure, en fonction à la fois des avancées du projet scientifique, et, des questions exprimées par les parties-prenantes (que ce soit du GR AT ou lors des portes ouvertes qui drainent une population plus large de riverains). Les membres du GR AT contribuent, chacun à sa manière et à son échelle, à la diffusion des points qui paraissent importants. **Les sujets à aborder le 16 mars 2024 pourront intéresser particulièrement les agriculteurs, les riverains et les associatifs :**

1. « **Adaptation au changement climatique : qu'apprend-on du rapport du GIEC ?** », par un intervenant chercheur au BRGM, membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).
2. **Elaboration et priorisation des critères d'emplacement de tête de puits d'injection du CO₂**, travail participatif avec des ingénieurs de Geostock.

Une information complémentaire sera partagée : **Applications du CSC dans l'industrie et l'agriculture (émissions des usines, des méthanisateurs...)** pour réduire les émissions nettes ou obtenir des émissions « négatives ».

- ❖ *Une chronologie un peu plus claire sur les prochaines étapes (avec les dates), décisions à prendre pour respecter le délai du projet.*
- Un flyer sera développé pour préciser à nouveau les étapes du projet et les décisions-type qui relèvent de la réglementation (et non pas du projet). **Entretemps, le site web du projet offre des ressources utiles en langue française :**
 - La [fiche de présentation](#) du projet.
 - [L'affiche générale](#) du projet.

Un document « foire aux questions », regroupant la réponse à 20 questions courantes, techniques, ou spécifiques à la région France, sera téléchargeable courant février 2024.



Annexe I : Ordre du jour de la réunion du 26 septembre 2023 et correspondance avec les sujets choisis par les parties prenantes

Groupe de réflexion « Adaptations & Territoire »¹

Deuxième réunion – de 16h à 19h, le 26 septembre 2023

En face à face, à Grandpuits-Bailly-Carrois

Salle de fêtes à Bailly-Carrois - Ancienne Mairie, 9 rue St Eloi de Baaly

Facilitation des arrivés et des départs pour les participants voyageant en train :

Les membres du projet assureront la « navette » entre la gare de NANGIS (77) et la Salle de fêtes.

Départ suggéré de Paris Gare de l'Est à 14h47 – Train « P » - Transilien XIBU – arrivé 15h34.

Retour suggéré 19h20 - arrivé 20h12

Ordre du jour

Horaire	Sujet	Qui
15h50	Arrivés (dont les passagers des navettes) et mise en place	Tous
16h00	Bienvenu – Groupe de Réflexion « Adaptations et Territoire » (GR AT)	F. Veloso BRGM M. Poumadère Symlog C. Mays Symlog
16h10	Table ronde des présentations	Tous
16h20	Introduction – Chronologies : <ul style="list-style-type: none"> Quel processus pour proposer un site pilote de stockage de CO₂ ? Etapes de recherche, d'évaluation ou d'instruction, et d'autorisation Le projet PilotSTRATEGY, son avancement scientifique 	F. Veloso BRGM
16h35	Présentation-débat – La connaissance du sous-sol pour piloter une installation de stockage géologique du CO ₂ . Retour sur la campagne de mesures par réflexion sismique dans le Brie nangissien. <ul style="list-style-type: none"> Comment se représenter le sous-sol ? Images humaines et scientifiques Approche de modélisation : collecte et interprétation de données Ce que nous apprenons du sous-sol caractérisé 	A-B. Christ IFPEN L. Mattioni IFPEN Tous
17h30	Pause	
17h40	Présentation-débat – Risques et sécurité. <ul style="list-style-type: none"> Identification des impacts locaux d'un stockage de CO₂ Approche d'évaluation de la sécurité d'un stockage Surveillance Devoirs et garantis – réglementation, recherches et actions 	I. Gravaud BRGM T. Le Guenan BRGM Tous
18h30	Table ronde – Impressions, messages à retenir, sujets à approfondir.	C. Mays Symlog Tous
19h00	FIN de réunion - Départ des navettes	

Les participants évalueront la réunion au moyen d'un questionnaire en ligne.

¹ Le **Groupe de réflexion "Adaptations et Territoire" (GR AT)** est organisé par l'équipe France du projet européen PilotSTRATEGY, représentée par les partenaires BRGM et SYMLOG. Il s'agit d'un dispositif participatif de recherche et de dialogue.

Le projet PilotSTRATEGY est soutenu par HORIZON 2020, le programme de Recherche et d'Innovation de l'Union européenne, sous le contrat n° 101022664.



@PilotSTRATEGY
www.pilotstrategy.eu



Rappel des sujets d'étude identifiés par le GR AT le 10 mars 2023

Les sujets touchés par la réunion du 26 septembre 2023 sont surlignés.

ENVISAGER LE STOCKAGE DE CO₂ DANS UN CONTEXTE D'URGENCE CLIMATIQUE :

- Méthodes comparatives d'évaluation de technologies et d'interventions, afin de bien apprécier l'apport durable du CSC, et de prendre conscience de toutes les approches nécessaires pour diminuer les risques du réchauffement climatique (réduction des émissions à la source ou de leur impact...)
- Connaissance des ressources du sous-sol et de la "concurrence" entre celles-ci
- Bénéfices de l'option CSC, des opportunités écologiques et industrielles ouvertes par elle

QUESTIONS TECHNIQUES :

- La technique du CSC, sa fonctionnalité, sa réalisation
- Retour détaillé sur les résultats de la campagne locale de mesures sismiques 3D
- Retour d'expérience de projets d'installation menés à terme (ailleurs en France et dans le monde) ; connaissance des conditions de mise en place, et des freins

RISQUES :

- Risques environnementaux ; impacts sur les autres ressources du sous-sol
- Risques, physiques ou autres, pour le territoire d'accueil
- Les préoccupations des riverains, dont les agriculteurs

QUESTIONS ECONOMIQUES :

- Point de vue des industriels : intérêt de la méthode, conditions pour la mettre en œuvre
- Coûts et bénéfices de l'approche
- Financement et répartition des coûts
- Conséquences économiques locales (positives et négatives)

GOVERNANCE ET JURIDIQUE :

- Processus et procédures pour mener à bien un projet de stockage
- Niveaux de décision
- Rôle, interactions, et coordination des parties prenantes
- Propriété et responsabilité juridiques

RECEPTION, ET PARTICIPATION, PAR LES CITOYENS :

- Perceptions locales et ressorts sous-jacents
- Connaissance des impacts sur le paysage, l'emprise au sol
- Clarifier le vocabulaire utilisé
- Comment impliquer le citoyen dans l'analyse décisionnelle (comparaisons, etc.)
- Envisager la reconnaissance sociale des territoires d'accueil

La synthèse des travaux du GR AT (réunion du 10 mars 2023) est publiée sur le site du projet



PilotSTRATEGY : [<https://pilotstrategy.eu/about-the-project/explore-the-regions>] – sélectionner **France** pour faire ouvrir une fenêtre "pop-up" et choisir les téléchargements (fiches de présentation, résultats d'étude, etc.).

Le projet PilotSTRATEGY est soutenu par HORIZON 2020, le programme de Recherche et d'Innovation de l'Union européenne, sous le contrat n° 101022664.



@PilotSTRATEGY
www.pilotstrategy.eu



Annexe II : Trace détaillée de la discussion « Connaissance du sous-sol »

Le tableau ci-dessous présente le déroulement de la discussion par le GR AT de la connaissance du sous-sol, le 26.09.2023 à Grandpuits-Bailly-Carrois, selon l'ordre des questions et remarques des parties-prenantes. En face se trouvent les réponses et les explications des deux intervenants de l'IFP Energies nouvelles, ou par la coordinatrice BRGM. Les numéros indiquent les diapositives préparées par l'IFPEN ([disponibles en ligne](#)).

Parties-prenantes	Réponse par l'équipe-projet
Comment imaginez-vous le sous-sol ? (Diapos 5-7)	
<ul style="list-style-type: none"> - Quand j'entends "nappe phréatique" je visualise des rivières souterraines - Un lac souterrain - Des sources souterraines, pour alimenter les nappes 	<p>L'eau ne coule pas dans des rivières souterraines, mais dans les pores des roches. L'eau s'écoule dans ces pores beaucoup plus lentement que dans une rivière comme on en voit sur la surface de la terre.</p> <p>La principale source de remplissage des nappes phréatiques est la pluie, qui s'infiltré dans le sous-sol.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Y a-t-il des cavités ? 	<p>Les cavités n'existent qu'à proximité de la surface. À des profondeurs plus importantes, le poids de la roche sus-jacente est trop élevé pour qu'il y ait une cavité.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - De l'argile 	<p>Le sous-sol comporte des couches géologiques également riches en argile. Mais il ne s'agit pas de l'argile molle et non consolidée qu'on voit sur le sol et que l'on utilise pour la poterie. L'argile est devenue une roche dure et consolidée au cours des temps géologiques.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Des microbes 	<p>Il peut y avoir des microbes dans le sous-sol, mais ils n'ont aucune importance pour le stockage du CO₂.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Roches durs, roches poreuses 	<p>Les couches géologiques du sous-sol sont dures et compactes. Avec le temps, les couches se forment les unes après les autres, les unes sur les autres. Les couches inférieures sont soumises à une pression intense qui les transforme finalement en roches dures. La porosité peut être préservée dans les roches, ce qui permet aux fluides de circuler dans les roches.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Il y a les drains et les canalisations, en céramique (terre cuite) ou en plastique 	<p>Il s'agit là du sol (agricole), d'une faible profondeur ; Pilot se réfère à une profondeur de 2000 m. Les géologues du projet partagent une expertise concernant une période de centaines de millions d'années ; les riverains partagent une expertise concernant des installations à 1,60m de profondeur et de deux siècles. Il faut pouvoir se parler.</p> <p>Une recherche collaborative spécifique a été organisée par PilotSTRATEGY, les élus et les agriculteurs riverains, afin de vérifier l'intégrité des drains historiques après la campagne de mesures (passage de camions vibreurs). Les observations ont confirmé leur intégrité.</p>

Résultats graphiques de l'analyse des données locales captées par réflexion sismique (Diapos 8-17 ; et Figure 2) – Lecture des lignes horizontales	
- Les lignes horizontales sont d'épaisseur différentes, et elles sont claires ou foncées	Ce sont des strates ou des couches souterraines de roche plus ou moins poreuse (laissant passer rapidement les ondes réfléchies) ou compacte (retardant le retour des ondes). On constate une couche claire (Fig. 2 : bleue) à la profondeur qui nous intéresse pour un réservoir de CO ₂ (à 2000 m sous la terre). Juste au-dessus se voit une couche au moins deux fois plus épaisse et très sombre (Fig. 2 : marron). Il s'agit de « cap rock », une couverture plus dense qui empêche la circulation de fluides vers le haut. C'est donc un élément favorable pour le confinement du CO ₂ .
- Y a-t-il de l'eau ?	Cette « échographie » ne décèle pas l'eau. Parmi les strates de l'image aucune ne représente une « rivière ». Cependant il y a bien de l'eau : elle est stockée dans les pores de la roche.
- La « photo » du souterrain montre une image très régulière, très organisée (plus qu'anticipée). On se serait attendu à des cavités ou des trous, à une texture moins compacte dans l'ensemble.	Oui, cette partie du bassin parisien est bien organisée, bien horizontale, stable et sans failles ni ruptures notables à cette échelle. (Des éventuelles failles seraient dues à des forces tectoniques, mais ces dernières sont en fait très faibles dans le bassin parisien. Il n'est donc pas inattendu de constater une telle régularité.) La hauteur des strates visibles est selon le cas d'environ 150 à 300 mètres ou davantage. On ne perçoit pas de cavités. A plus petite échelle, les roches sont de porosité et de perméabilité différentes.
Résultats de l'analyse des carottages ; connaissance des forages et des puits ; caractère des roches (18-27)	
-L'argile n'est-il pas une matière largement saturée d'eau ? Comment affirmer que l'argile serait « imperméable » ? -Comment s'appellent les roches en présence ?	Combien d'eau est dans la roche ? La porosité décrit combien de pores, et de quelle taille, caractérisent la roche. La perméabilité désigne le degré de connectivité entre les pores, et ainsi décrit avec quelle facilité l'eau pénètre la roche plus ou moins compacte. Tenant compte de ces dimensions et d'autres, les mesures de « lithologie » décrivent la roche en présence. La couche claire réservoir est composée d'oolithe blanche, poreuse et perméable. Pour la couche sombre de « cap rock », il s'agit dans ce cas précis d'argilite, une argile dite consolidée. On parle aussi de marne, une matière hautement compacte et dure, riche en argile étanche.
-On constate une sorte de tube vertical sur l'image. (13 etc.)	C'est un puits de forage.
-Les anciens puits sont-ils répertoriés ? -Avez-vous accès aux données des années d'exploitation du sous-sol pétrolifère de la région ?	Absolument. (19) Toutes les recherches PilotSTRATEGY s'appuient sur des connaissances et des méthodologies établies, en rassemblant pour les exploiter le maximum de données disponibles (bases de données, publications scientifiques, etc.), et en les combinant avec les données fraîchement collectées pour former et interpréter un modèle détaillé du contexte.
-Les puits se déforment-ils sous la pression souterraine ?	Non, car d'une part un « casing » ou étui d'acier est laissé en place pour gagner la conduite, et d'autre part, la faiblesse de l'activité tectonique dans le bassin parisien signifie que les puits ne sont pas « ovalisés ». Exemples d'ailleurs : Les tunnels de Bure ou sous la Manche tiennent ainsi avec un casing, et du ciment pour assurer l'étanchéité totale.

<p>-La roche de la zone est-elle étanche ?</p>	<p>L'eau en principe circule de façon très, très lente dans une roche. Pour cela, les pores doivent être connectés. Il s'agit ainsi d'évaluer la taille ou volume des pores (la porosité), et leur connectivité (la perméabilité). Des failles dans la roche pourraient introduire d'autres chemins de connectivité. Se souvenir que la pression en sous-sol est très largement supérieure à ce qui est observée en surface et qui conditionne la coulée de l'eau que nous observons à l'œil nu.</p>
<p>Examen des échantillons – Expérience pratique</p>	
<p>Des échantillons sont passés de main en main et examinés à la loupe. On verse de l'eau de robinet sur les échantillons d'oolithe, légère et de couleur claire, et de marne, sombre, dur et lourd. On constate le comportement de l'eau, qui pénètre immédiatement ou qui perle en surface. Photo On fait un « test » (humoristique) avec du gaz carbonique naturel : en versant du Perrier sur l'oolithe blanche ! Des bulles se forment, c'est le gaz laissé à la surface alors que l'eau est rapidement absorbée. Pour faire rentrer le gaz il faudrait une injection sous pression. Vidéo</p>	
<p>Aspects de sécurité</p>	
<p>-Une « cheminée » vers la surface pourrait-elle se former ? Comment assurer que les puits anciens de pétrole ne forment pas des voies d'issu pour le CO₂ ? -Le gaz carbonique peut-il exploser ?</p>	<p>Aucune faille n'a été trouvée dans le site à l'étude, ce qui serait le seul moyen potentiel pour le CO₂ de migrer vers la surface. Le CO₂ injecté dans ce site serait piégé en dessous d'une couverture étanche des argiles. Le CO₂ n'est pas un gaz explosif. Il est même utilisé dans les extincteurs pour éteindre les incendies.</p>
<p>Extension souterraine du bassin parisien</p>	
<p>-La zone-réservoir oolithique s'étend jusqu'où ? - Comment l'eau y rentre-t-elle ?</p>	<p>La formation rocheuse en entière affleure en Lorraine et au Havre. Entre les deux, le roc est en forme de bassin creux souterrain : c'est le bassin parisien. L'eau pénètre par la partie exposée, l'affleurement. Les études historiques du BRGM ont montré que l'eau met à peu près 10 mille ans pour venir de Lorraine dans la zone étudiée en Seine et Marne. Au cours de cette lente circulation elle s'est chargée de minéraux ; elle est très salée, inutilisable que ce soit en agriculture ou en consommation. Nous parlons d'un aquifère salin.</p>
<p>-Quel est l'étendu potentiel de la diffusion à l'horizontal de gaz injecté ? L'étendu du bassin parisien signifie-t-il que nous ne sommes pas les seuls concernés ?</p>	<p>Le CO₂ est injecté sous grande pression, ce qui fait qu'il n'est pas en forme de gaz mais dans une phase fluide. La migration rapide, horizontale ou verticale, du CO₂ n'est pas attendue dans la mesure où il faudrait une force (comme celle de l'injection) pour faire ressortir ce fluide des petits pores. Aussi avant le temps géologique, du CO₂ injecté en Seine et Marne ne ressortira ni en Lorraine ni au Havre. PilotSTRATEGY fait les modèles détaillés afin de pouvoir démontrer aux autorités que la quantité de CO₂ injectée pour un test pilote restera effectivement dans le périmètre pour lequel un permis est demandé. En phase opérationnelle d'un stockage, le respect effectif des paramètres est contrôlé périodiquement par une surveillance en surface et des forages.</p>
<p>-C'est un schéma inversé par rapport à l'exploitation pétrolière : l'extraction est remplacée par l'injection. Ces activités sont évaluées en fonction de leur contexte économique.</p>	<p>Une des raisons de s'intéresser de près à cette géologie identifiée comme propice est qu'effectivement une usine source de CO₂ est sur place. Plus cette source est proche, moins il y a de transport. Il s'agit d'un cas-test idéal, avec un réservoir sous les pieds de l'usine.</p>

Annexe III : Trace détaillée de la discussion « Risques et Sécurité »

Le tableau ci-dessous présente le déroulement de la discussion par le GR AT des risques et de la sécurité du stockage, le 26.09.2023 à Grandpuits-Bailly-Carrois, selon l'ordre des questions et remarques des parties-prenantes. En face se trouvent les réponses et les explications des intervenants du BRGM. Les numéros indiquent les diapositives préparées par le BRGM ([disponibles en ligne](#)).

Questions des parties-prenantes	Information, ou réponse, par l'équipe-projet
L'objectif de la sécurité d'un stockage géologique de CO₂ ; le retour d'expérience	
	<p>Une tâche du projet PilotSTRATEGY est dédiée à l'évaluation prévisionnelle de la sécurité et de la performance d'un stockage géologique du CO₂. L'objectif de ce travail est d'assurer qu'un stockage, dans les conditions d'opération qui sont proposées, ne présente aucun risque pour la santé et pour l'environnement.</p>
	<p>Il n'y a pas de stockage de CO₂ en France à l'heure actuelle ; cependant un retour d'expérience est possible :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il y a des réservoirs naturels de CO₂ qui montrent que les couches des réservoirs géologiques sont capables de piéger le CO₂ pendant des millions d'années. • Il y a par ailleurs dans le monde (<i>diapo n° 3</i>) des installations de stockage de CO₂ qui fonctionnent en toute sécurité depuis, pour certaines, des dizaines d'années (ex : le premier stockage, Sleipner, au large du Norvège, a été initié en 1996). <p>Le stockage est cependant spécifique à chaque endroit ; aussi, pour chaque projet il faut des études dédiées à la connaissance du site potentiel.</p>
L'expérience (distincte) du stockage saisonnier du gaz naturel	
<p>-Depuis quand existent les stockages géologiques de gaz naturel en France ? - Y a-t-il eu de problèmes avec ce type de stockage ? -Lorsque le gaz ressort, a-t-il toujours la même composition ; n'entraînent-ils pas des matières ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • On a aussi en France l'expérience depuis des décennies du stockage géologique à -500m de gaz naturel (connaissance du milieu géologique ; compétences nécessaires pour les opérations d'injection de gaz). <p>Ce type de stockage existe depuis les années 50. Depuis le fonctionnement de ces stockages de réserves, la France n'a pas enregistré d'accident ni de fuite. Il s'agit de stockages saisonniers ; on injecte le gaz lorsque la demande de gaz est moins forte et on peut le déstocker pour répondre aux besoins. Le gaz conserve ses qualités et n'est pas chargé de minéraux suite au stockage en milieu géologique. A noter, les riverains souvent n'ont pas conscience de la présence de ces réservoirs de gaz naturel (soit, il n'y a pas de nuisances avérés). Le site de Trois-Fontaines-l'Abbaye (51) a été mentionné ; ancien gisement de gaz naturel, il referme des stocks importants datant d'une période d'exploitation. https://www.storengy.fr/fr/nos-activites/nos-sites/trois-fontaines-labbaye</p>

Sécurité du stockage géologique du CO ₂ : la stratégie de la roche couverture	
	<p>A la différence du stockage de gaz naturel, l'objectif du stockage de CO₂ est que celui-ci reste confiné de manière permanente dans le sous-sol.</p> <p>Les différentes couches géologiques (<i>diapo n°4</i>) de la zone du Bassin parisien étudiée sont très planes et homogènes. Parmi elles, la moins dense, à environ 1900m de profondeur, servirait de réservoir. Elle est surmontée d'une couche qui doit fonctionner comme la « couverture » du stockage. Cette roche couverture, composée des argiles imperméables du Callo Oxfordien, est d'une épaisseur très importante : 300m, permettant de fournir une barrière contre la remontée du CO₂ injecté.</p>
Sécurité du stockage géologique du CO ₂ : la conception et l'état d'imperméabilité des puits	
<p>Combien de puits y a-t-il dans la zone actuellement ? Comment déterminer leur localisation ?</p>	<p>Un autre point important pour évaluer la sécurité d'un stockage : la présence de puits, soit des éléments ouvragés qui permettent de faire le lien entre la surface et le réservoir (<i>diapo n°5</i>). Lors du forage, on introduit un tube en métal qui permet au puits de ne pas se refermer. Entre le tube et la roche, il y a forcément un petit espace, lequel est cimenté afin d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage.</p> <p>Les puits pétroliers actuellement en présence dans la région étudiée permettent à PilotSTRATEGY d'acquérir de nombreuses données sur le sous-sol, mais ils constituent dans le même temps un chemin potentiel de fuite vers la surface pour le CO₂ stocké. Le projet ainsi doit vérifier l'état de ces puits et prendre en compte le degré de porosité de leur cimentation.</p> <p>Leur localisation est bien connue et dans les bases de données publiques. Il y a 5 puits dans la zone de 10 km sur 10 km étudiée par PilotSTRATEGY.</p>
Sécurité du stockage géologique du CO ₂ : la stabilité du milieu	
	<p>Deux autres éléments importants caractérisent le site étudié : son absence de sismicité naturelle, et l'absence de failles. Lorsqu'elles sont présentes, les failles pourraient, suite à injection, être amenées à jouer et à générer de la micro-sismicité. Les modèles géomécaniques permettent de vérifier si l'injection de gaz dans le sous-sol modifierait les forces (contraintes) qui s'appliquent sur la roche.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le bassin parisien, composé d'un empilement de couches sédimentaires quasi horizontales, est une zone très tranquille du point de vue de la sismicité naturelle (<i>voir diapo n°6</i>). • Selon les études, la zone de Grandpuits est peu sismique, et qui plus est, extrêmement peu faillée. <p>L'exploitation de la géothermie dans cette région n'a pas induit de sismicité.</p>
La zone de Grandpuits comme site potentiel de stockage	
<p>- Grandpuits serait-il le point d'injection ?</p>	<p>Nous étudions une zone de 10 km x 10 km centrée sur Grandpuits. PilotSTRATEGY mène des études pour évaluer les différents points possibles d'injection et pour identifier le plus optimal. Lors de la prochaine réunion du GR AT au printemps 2024, nous souhaitons pouvoir présenter les différentes options identifiées et entamer une discussion sur les critères classiques ou spécifiques qui rentrent en jeu.</p>
<p>- Y aurait-il des nuisances, comme la circulation de camions-citernes avec le CO₂ à</p>	<p>L'étude ne concerne pas un site pour stocker le CO₂ de la France entière, mais un site <i>pilote</i> dans la proximité immédiate d'une seule entreprise qui capte déjà son CO₂.</p> <p>Cette approche permet d'éviter justement tout transport routier.</p>

stocker provenant d'autres entreprises en France ?	
L'analyse et la prévention des risques	
<p>- Cela ressemble à l'étude des dangers, classique en entreprise.</p> <p>- Il faut distinguer deux niveaux de questionnement : le risque sur l'exploitation d'un puits ; et, la probabilité de fuite dans le temps.</p>	<p>L'analyse des risques (<i>voir diapos n° 7, 8</i>) consiste à construire des scénarios et à se demander :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Qu'est-ce qui pourrait se passer différemment de ce qui est prévu ? ➤ Quelle en est la probabilité ? ➤ Quelles pourraient être les conséquences ? ➤ Que peut-on faire pour réduire la probabilité et/ou les conséquences ? <p>Il s'agit en effet d'une approche assez généralisée sur les entreprises. Suivant la norme ISO 31 000, on imagine tous les scénarios de risque qui pourraient intervenir, en se basant sur la littérature et le retour d'expérience. On évalue la crédibilité des scénarios. On quantifie les risques en termes de probabilité et d'impact. On met en face les interventions afin de prévenir ou de réduire ces éléments.</p> <p>Exemple (<i>voir diapos 9, 10</i>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quel est le déplacement du CO₂ dans le réservoir ; quelles seraient l'évolution du panache et son empreinte ? Y aurait-il une chance qu'il atteigne un autre puits dans la zone ? • Quel est l'état dudit puits ? Quelle est la probabilité qu'il fuie ? • Ensuite, selon des critères fixes : Le risque est-il acceptable ? • Sinon, quelles interventions sont à prévoir pour éviter, réduire ou maîtriser ce risque ?
	<p>Des interventions de prévention ou de remédiation peuvent comprendre, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limiter le débit d'injection de CO₂ dans le réservoir. • Mettre en place des mesures de surveillance, géophysiques ou chimiques. • Etc.
Une réglementation européenne et française stricte	
<p>- En quoi la réglementation est-elle plus stricte ?</p>	<p>Une demande de permis de stockage se fait dans le cadre du code minier, alors que l'injection du CO₂ exige une autorisation dans le cadre du code environnemental.</p> <p>Le stockage géologique du CO₂ est soumis à une réglementation assez stricte, à la fois européenne et française (<i>voir diapos n° 11, 12</i>). Plus exigeante que celles prévues pour la géothermie ou la production d'hydrocarbures, la réglementation érige beaucoup de conditions et d'obligations, par exemple pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'attribution du permis sur la partie exploration du réservoir ; • les méthodes de remédiation des éventuels risques ; • la fermeture du stockage (au terme de 30 ans), le plan de surveillance post-fermeture.
<p>- Le dimensionnement de la zone d'étude de PilotSTRATEGY est-il suffisant</p>	<p>Oui, la zone est de dimension adéquate.</p> <p>En prenant en compte le volume d'eau en surface, la porosité de la roche, et d'autres critères, un calcul approximatif du volume possible de stockage a été fait.</p>

pour obtenir des résultats valables ?	Les exercices de calcul pour le site industriel de LAT Nitrogen (ex-Boréal) montraient environ 300 000 tonnes d'émission (production) annuelle, ce qui donnerait, sur une période de 15 ans environ, un volume total de 4-5 millions de tonnes injectées. Toutefois, l'objectif de projet PilotSTRATEGY est plus modeste : préparer un pilote de recherche visant l'injection de 100 000 tonnes (max) de CO ₂ dans le réservoir.
---------------------------------------	---

Questions et remarques des participants sur le risque et la nuisance	
Quels sont les dangers du gaz CO ₂ ? Est-ce inflammable ? est-ce explosif ? Est-ce toxique à respirer ? S'il y a une fuite du stockage, y a-t-il danger pour la population ? S'il y a une fuite ou faille, y a-t-il moyen de le colmater assez rapidement ?	Le danger de respirer le CO ₂ dépend de la concentration. On le respire actuellement. Etant donné la profondeur du stockage (1800 m), il est peu probable qu'une fuite de CO ₂ atteigne la surface. Si cela arrivait, il est également peu probable que cela provoque une concentration dangereuse du fait de la dispersion dans l'air.
La réglementation donne-t-elle des éléments chiffrés pour fixer une concentration maximum, ou pour dire à partir de quand un risque peut être négligé ? Ou s'agit-il du jugement d'expert ?	Un élément de réponse est proposé par une participante industrielle : « D'une manière générale, dans l'industrie, on utilise beaucoup de produits chimiques sous toutes ses formes et on a toujours des valeurs limites d'exposition pour les travailleurs. On a des obligations réglementaires de faire des mesures pour vérifier si les travailleurs sont exposés ou pas. On a toujours une obligation de se placer à 10 % de la valeur limite pour vérifier qu'il n'y a pas de risque et qu'on ait bien une marge de sécurité entre la valeur vraiment à risque et la valeur qu'on mesure au réel. »
-Quelle serait la classification Seveso d'une installation de stockage du CO ₂ ?	Le stockage de CO ₂ est considéré comme ICPE (installation classée pour la protection de l'environnement) avec la classification n° 2970.

Dans la perspective du changement climatique et de la transition énergétique	
- Concernant l'environnement et le futur, dans le cadre du réchauffement climatique : Nous pouvons admettre qu'il y aura moins de risque à l'enterrer que de laisser toujours le CO ₂ excédentaire dans l'atmosphère.	Effectivement, on peut faire une comparaison des risques, ou une analyse avantages-inconvénients.
- Il ne faut pas que la solution du stockage exonère les entreprises de réduire leur production de CO ₂ !	Effectivement, il ne s'agit pas de consacrer tous ces efforts de développement dans une perspective de « <i>business as usual</i> » en laissant continuer comme avant. Le CSC est une technologie de transition vers une économie décarbonée. Elle cible principalement les émissions de CO ₂ dites irréductibles, intrinsèques à certains procédés industriels (ex. fabrication du ciment), qu'on ne peut pas réduire par d'autres leviers (comme l'amélioration des procédés, les économies d'énergies, l'électrification, etc.).

La décision et la responsabilité	
C'est positif de faire un pilote ; il faudra réfléchir avant de passer à un projet définitif.	Comme exposé en début de réunion, il y a un processus décisionnel pour attribuer une concession, pour octroyer un permis de recherche, et puis après la fin du pilote pour octroyer un permis pour développer un stockage. Ce n'est pas une procédure automatique.
Qui serait l'exploitant, et qui gérerait le stockage dans le temps ? L'industrie ? Quelle est l'implication des administrations ?	La question de la gouvernance et des responsabilités sera inscrite au programme d'étude d'une prochaine réunion du GR AT. Les partenaires scientifiques, techniques et industriels du projet européen PilotSTRATEGY préparent de façon détaillée les études nécessaires pour créer dans les meilleures conditions de sécurité un projet pilote de stockage. Ces données d'étude sont rendues publiques. Les éventuelles décisions de demande de permis, ou d'exploitation ne font pas l'objet de la recherche et ce n'est pas l'équipe PilotSTRATEGY qui en aurait la charge. Pour mémoire, les responsables ministériels nationaux et régionaux (DGEC ; DDT ; DRIEAT) font partie du GR AT. La DGE est présente aujourd'hui. Des réunions spécifiques d'information ont déjà eu lieu entre le projet et les responsables administratifs.

