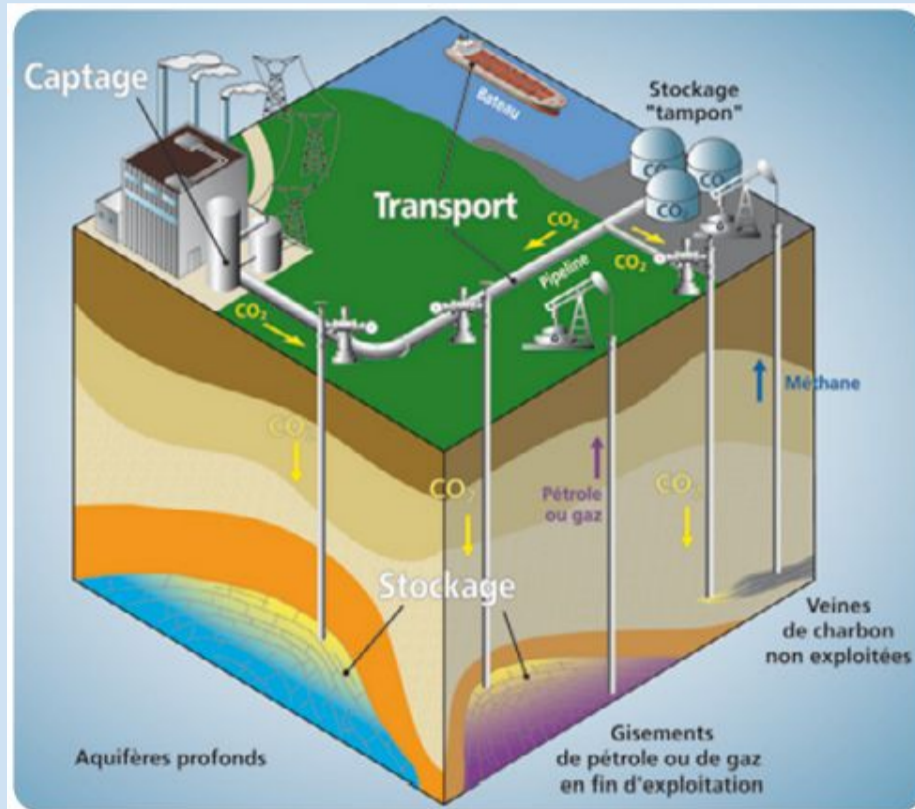


Le captage et stockage géologique du CO₂ (CCS), qu'est ce que c'est ?

Définition (GIEC): Processus dans lequel un flux relativement pur de dioxyde de carbone (CO₂) provenant de sources industrielles ou liées à l'énergie est séparé (capturé), conditionné, comprimé et transporté vers un lieu de stockage en vue d'un isolement à long terme de l'atmosphère.

Processus en 3 étapes:

- 1- Capture du CO₂ (Post-combustion, Pré-combustion, Oxycombustion, Capture directe de l'air)
- 2- Compression et transport (Pipelines, Transport maritime)
- 3- Injection et stockage



Focus sur le stockage :

Formations géologiques :

Définition : Assemblages naturels dans lesquels est injecté le CO₂ et fournissant des réservoirs souterrains capables de le piéger et de l'isoler.

Aquifères :

Les aquifères salins sont des formations souterraines poreuses et perméables remplies d'eau salée. Le CO₂ est retenu par des mécanismes tels que la dissolution et le piégeage structural. Les aquifères salins offrent une capacité de stockage potentiellement importante.

Gisements de pétrole épuisés :

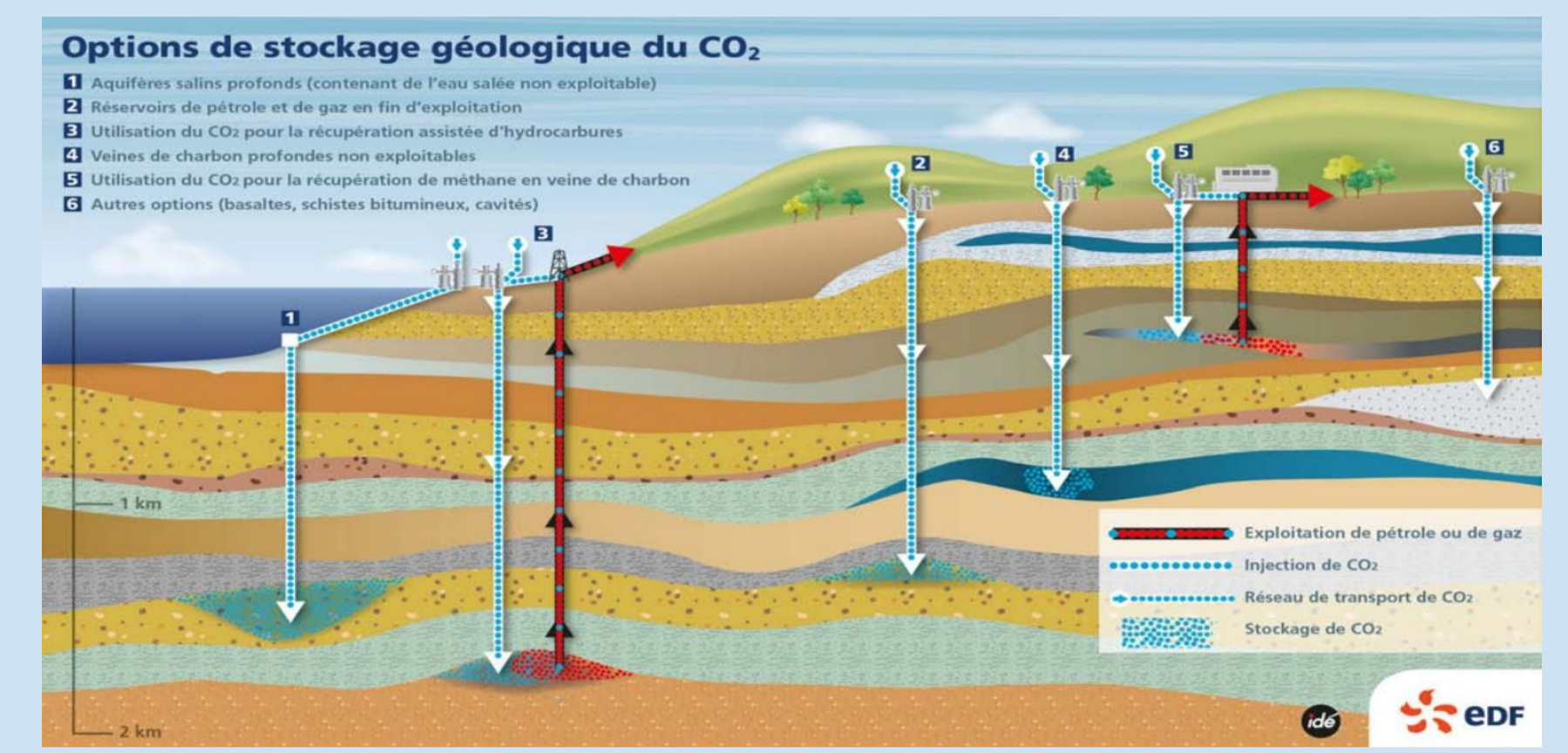
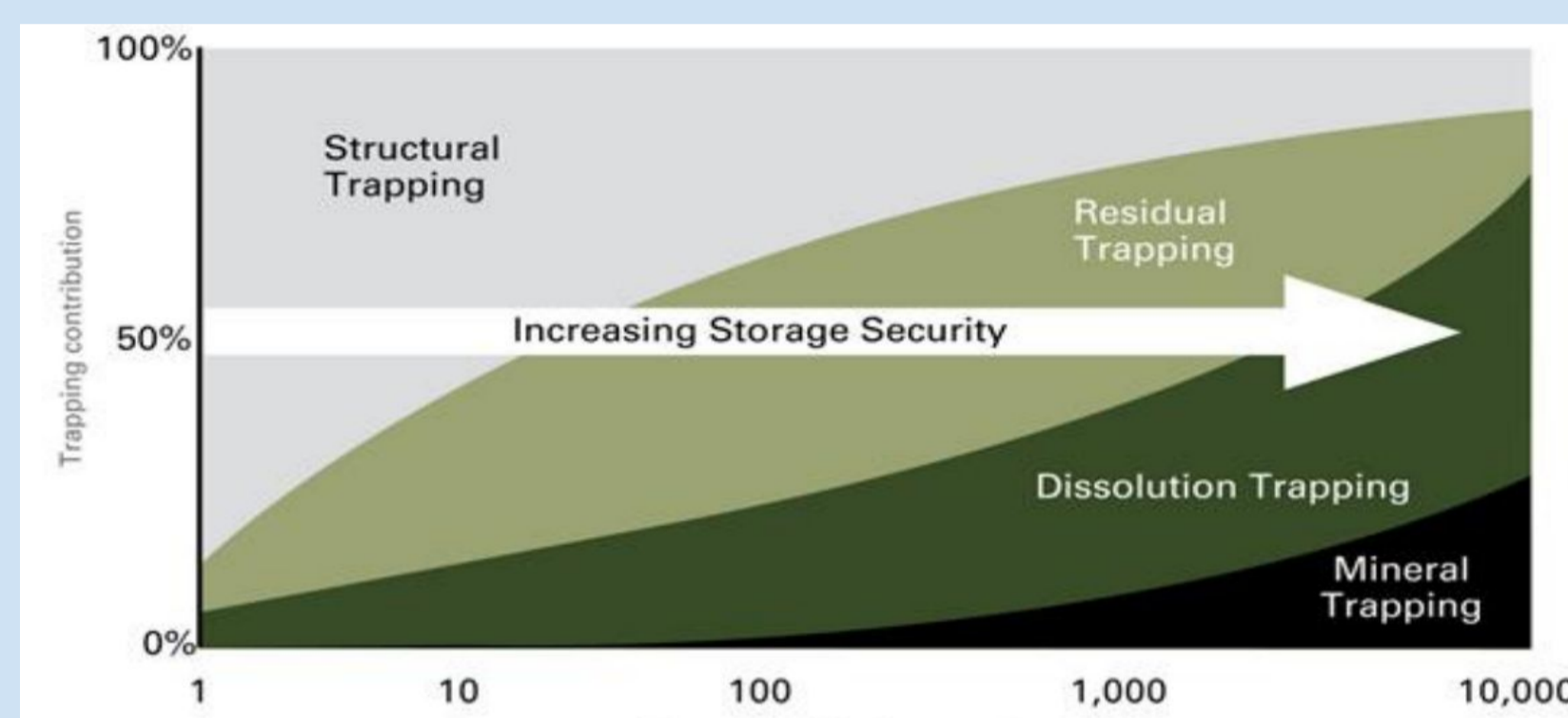
Le CO₂ est injecté dans ces gisements, contribuant à une augmentation de la pression qui facilite la récupération supplémentaire de pétrole ou de gaz tout en stockant simultanément le CO₂. Cependant, la capacité de stockage peut être limitée.

Formations de charbon non exploitées :

Le CO₂ peut être injecté dans ces formations, où il est adsorbé par le charbon. Cela offre une méthode de stockage basée sur le piégeage par adsorption, où le CO₂ reste piégé dans les pores du charbon.

Basaltes et formations non conventionnelles (schistes) :

Les basaltes sont des roches volcaniques riches en minéraux basaltiques. Le CO₂ est stocké par un processus de minéralisation. Cela offre une solution de stockage à long terme, bien que la vitesse d'injection peut varier.



Mécanisme de stockage :

Définition : Processus permettant de retenir le CO₂ en profondeur.

Piégeage par dissolution :

Le CO₂ dissous réagit chimiquement avec l'eau pour former de l'acide carbonique (H₂CO₃), qui peut ensuite se dissocier en ions bicarbonate (HCO₃⁻) et ions hydronium (H₃O⁺). Cette dissolution dans l'eau contribue à la stabilité à long terme du stockage.

Piégeage structural :

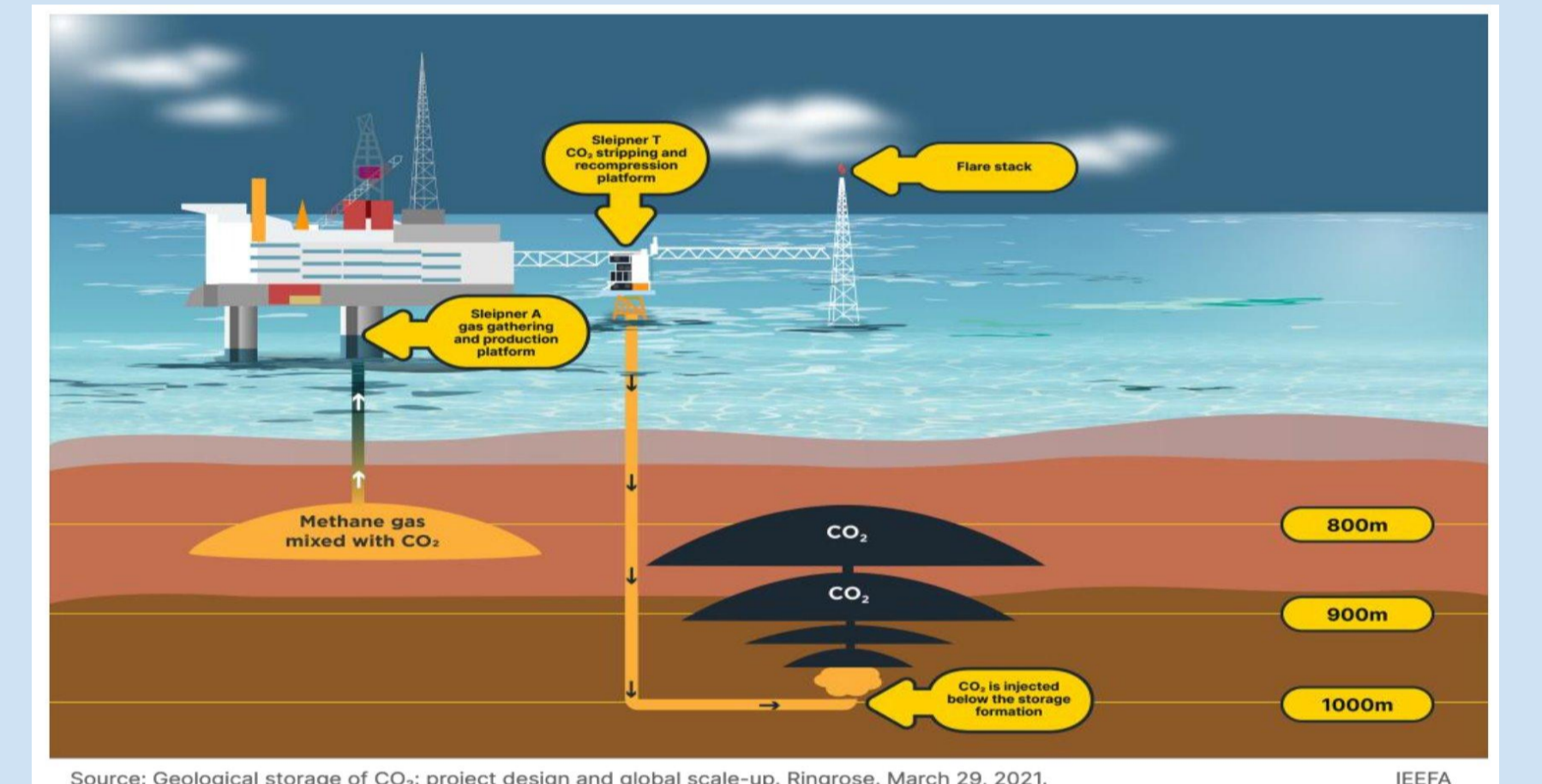
Le CO₂ peut rester piégé dans la formation en raison de la structure géologique qui empêche son déplacement vertical. Des structures géologiques telles que les dômes, les anticlinaux ou les failles peuvent fournir des barrières naturelles.

Piégeage résiduel :

Les forces capillaires et les interactions entre le CO₂ et les surfaces de la roche maintiennent une quantité résiduelle de CO₂ dans les pores. Ce mécanisme est particulièrement pertinent dans les réservoirs poreux et peut contribuer à une séquestration à long terme.

Piégeage minéral :

Le CO₂ réagit avec les minéraux basaltiques pour produire des carbonates de calcium, magnésium et fer. Ces carbonates solides restent piégés dans la roche, contribuant ainsi à un stockage à long terme du CO₂.



Exemples de projet

Projet Sleipner (Norvège) :

Description : Le projet Sleipner, dirigé par Equinor (anciennement Statoil), est le premier projet commercial de stockage géologique du CO₂. Il est situé en mer du Nord. Opérationnel depuis : 1996
Source de CO₂ : Le CO₂ est extrait du gaz naturel extrait du sous-sol, où il est naturellement présent en concentrations élevées.
Site de stockage : Le CO₂ est injecté dans un aquifère salin situé à environ 800 à 1000 mètres sous le fond marin.
Mécanisme de Stockage : Piégeage structural et dissolution dans l'eau.
Capacité de stockage : 1 million de tonnes de CO₂ ont été stockées avec succès, démontrant la viabilité à long terme de cette approche.

Projet In Salah (Algérie) :

Description : Le projet In Salah est un projet de stockage géologique du CO₂ situé dans le sud de l'Algérie. Il est dirigé par BP, Statoil, et Sonatrach. Le stockage a été arrêté pour risques.
Source de CO₂ : Le CO₂ est capturé à partir du gaz naturel extrait du champ gazier d'In Salah. Opérationnel depuis : 2004
Site de stockage : Le CO₂ est injecté dans un gisement de gaz épuisé à plus de 1 800 mètres sous terre.
Mécanisme de Stockage : Piégeage structural.
Capacité de stockage : Le projet a permis de stocker 4 millions de tonnes de CO₂ avec succès.

Projet Boundary Dam (Canada) :

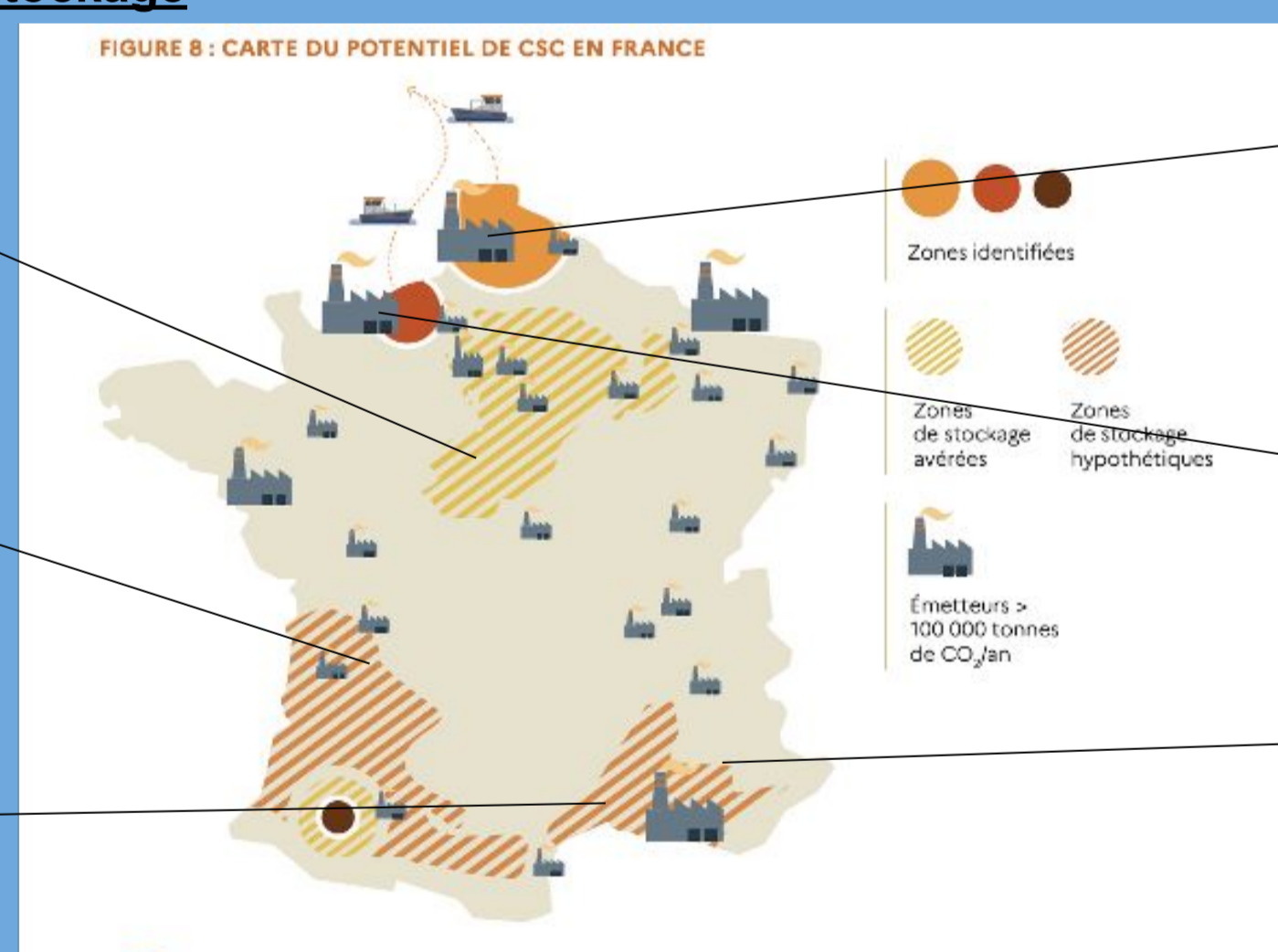
Description : Situé en Saskatchewan, le projet Boundary Dam est une centrale électrique au charbon équipée de la capture et du stockage du CO₂ (CCS). Opérationnel depuis : 2014
Source de CO₂ : Le CO₂ est capturé directement à partir des gaz de combustion issus de la centrale électrique au charbon.
Site de stockage : Le CO₂ capturé est injecté dans un gisement de pétrole épuisé à proximité.
Mécanisme de Stockage : Piégeage structural et injection dans un gisement de pétrole épuisé.
Capacité de stockage : Le projet vise à stocker environ un million de tonnes de CO₂ par an.

Projet Gorgon (Australie) :

Description : Le projet Gorgon est situé sur l'île Barrow, en Australie occidentale. Il s'agit d'une installation de liquéfaction de gaz naturel avec capture et stockage du CO₂. Opérationnel depuis : 2019
Source de CO₂ : Le CO₂ est extrait du gaz naturel avant la liquéfaction.
Site de stockage : Le CO₂ est injecté dans des réservoirs souterrains profonds.
Mécanisme de stockage : Injection dans des réservoirs souterrains profonds.
Capacité de stockage : Le projet vise à stocker plusieurs millions de tonnes de CO₂ par an.

Focus sur la France : potentiel de stockage, volumes d'émissions, objectifs et scénarios existants

Zones potentielles de stockage



Zones d'émissions de CO₂

Haut de France : 13,2 MtCO₂/an
⇒ Sidérurgie

Normandie : 7,1 MtCO₂/an
⇒ Chimie-Raffinerie

PACA : 11,8 MtCO₂/an
⇒ Acier-Raffinerie-Chimie

Le problème révé par ces deux cartes se situe dans le lien entre lieux d'émissions et de stockage. En effet les sites potentielles de stockage et les zones d'émissions de CO₂ sont souvent éloignés à l'image du bassin aquitain loin des zones d'émissions. Cette distance rend ainsi difficile l'élaboration d'un plan de stockage du CO₂.

Le futur site de stockage géologique doit ainsi être le plus proche de la possible source de CO₂ entre 100 km-200 km au maximum pour réduire les coûts de transport. Dans le cas où il y aurait une mise en commun d'un site de stockage géologique pour différentes sources de CO₂, il serait possible d'envisager la mise en place de pipelines pour le transport de grands volumes de CO₂ (>5MtCO₂/an) sur de plus longues distances (entre 500 km-600 km).

Dans le cas du stockage offshore, la distance envisagée peut être encore plus importante. Par exemple, le projet de stockage norvégien Northern Light a pour but de développer des sites de stockage géologique au large de la Norvège qui pourraient stocker les émissions de CO₂ de la façade Nord-Atlantique. Ainsi pour le cas de Dunkerque, cela représenterait un transport des émissions de CO₂ sur plus de 1500 km soit par bateau ou par canalisation.

Stratégie CCUS :

- Phase 1 (2023-2025) : État des lieux du potentiel de stockage, test d'injection de CO₂
- Phase 2 (2026-2030) : déploiement d'infrastructures autour de Dunkerque, du Havre et de Fos-sur-Mer.
 - Dunkerque : labélisation européenne prévoyant l'export de 3 à 4 MtCO₂/an à horizon 2030.
 - Vallée du Rhône : possibilité de stocker dès 2027 du CO₂ en Italie dans le cadre du projet Callisto. Déploiement du CCS pourrait s'envisager via un transport par bateau et même par pipeline.
- Phase 3 (2028-2033) : déploiement au niveau du Piémont pyrénéen, de la Loire voire des bassins aquitain et parisien.
 - Loire : fort recours au CCS à partir de 2030, avec des volumes significatifs (1,5MtCO₂/an en 2033). Projet GOCO₂ prévoit entre 2 et 4 MtCO₂/an transportés).
 - Bassins aquitain et parisien : potentiel de stockage qui doit encore être affiné, mise à disposition des capacités de stockage aux proches des émetteurs, solution au problème de la distance émetteur/stockage.
- Phase 4 (post 2033) : déploiement du CCS au niveau du Grand Est : mobilisation des capacités nationales et/ou un raccordement à un réseau de transport prolongeant l'axe Rhône à une échelle européenne.

Faisabilité d'un déploiement rapide des infrastructures.

Phase d'exploration

Approches pour Accélérer la Phase d'Exploration :

- **Technologies Avancées :** sismique 3D, la tomographie électrique, et d'autres méthodes de caractérisation géophysique pour accélérer la collecte de données cruciales sur les caractéristiques du sous-sol.
- **Modélisation Numérique :** Permet d'anticiper les conditions géologiques et de simuler différents scénarios. Cela peut réduire le besoin d'analyses de terrain et accélérer le processus de sélection des sites.
- **Évaluation Préable des Sites Potentiels :** Permet d'éliminer rapidement les sites moins prometteurs. Des critères tels que la proximité des sources d'émissions de CO₂, la capacité de stockage du sous-sol, et la stabilité géologique peuvent être évalués initialement.

Facteurs de Rapidité dans la Phase d'Exploration :

- **Coordination avec les Acteurs Concernés :** Collaboration entre les gouvernements, les entreprises, les communautés locales et les experts scientifiques peut réduire les retards liés à la coordination et aux processus administratifs.
- **Évaluation des Risques :** Evaluation proactive des risques géologiques, environnementaux et sociaux peut permettre une prise de décision plus rapide.

Défis Potentiels à Surmonter :

- **Complexité Géologique :** Certains sites nécessitent des études approfondies. Trouver un équilibre entre la rigueur scientifique et la rapidité est crucial.
- **Règlementations et Consultations Publiques :** Nécessaires mais peuvent prolonger la phase d'exploration. Des processus efficaces de collaboration avec les autorités compétentes peuvent minimiser ces délais.

Réduire la durée de la mise en place des projets

Planification précoce en anticipation :

- Commencer la planification dès que possible pour identifier les sites appropriés, obtenir les autorisations nécessaires et évaluer les aspects techniques.
- Engager tôt les parties prenantes : autorités locales, communautés, et experts, pour minimiser les retards dus à des préoccupations sociales ou réglementaires.
- S'assurer d'avoir des mécanismes de financement en place dès les premières étapes du projet pour éviter les retards liés à des problèmes budgétaires.

Utilisation de technologies éprouvées :

- Privilégier l'utilisation de technologies de capture et de stockage du CO₂ éprouvées et bien établies.
- Automatiser autant que possible les processus, de la collecte des données à l'injection du CO₂.
- Collaborer avec des partenaires internationaux pour tirer parti des meilleures pratiques.

Acceptabilité

- **Communication Transparente :** Essentielle pour établir la confiance et favoriser l'acceptabilité sociale.
- **Participation du Public :** Impliquer activement les parties prenantes locales, y compris les communautés résidentielles, les groupes environnementaux, et les autorités locales, pour renforcer l'acceptabilité sociale.
- **Consultations Précoces :** Commencer les consultations publiques dès les premières étapes du projet
- **Éducation et Sensibilisation :** Informer le public sur les avantages du stockage géologique du CO₂, les mesures de sécurité mises en place, et les impacts réduits.
- **Programmes de Compensation :** Mettre en œuvre des programmes de compensation, tels que des initiatives de développement communautaire ou des investissements dans les énergies renouvelables locales.

Conséquences d'un retard dans le développement à une échelle globale

- **Augmentation des Émissions de CO₂ :** Un retard dans la mise en place des infrastructures de stockage géologique peut entraîner une augmentation des émissions de CO₂, contribuant ainsi au changement climatique.
- **Complications pour Atteindre les Objectifs Climatiques :** Les retards peuvent rendre plus difficile l'atteinte des objectifs climatiques fixés, nécessitant des efforts supplémentaires et des mesures plus drastiques à l'avenir.
- **Dépendance Continue des Énergies Fossiles :** Un retard dans le déploiement des solutions de stockage du CO₂ peut prolonger la dépendance mondiale à l'égard des énergies fossiles, entravant la transition vers des sources d'énergie plus propres.

En résumé, accélérer le développement des infrastructures de stockage géologique du CO₂ est essentiel pour éviter les conséquences négatives sur les objectifs climatiques mondiaux. Cela nécessite un engagement précoce, des investissements stratégiques et une collaboration mondiale pour surmonter les défis potentiels.

