Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Geologische Speicherung von CO_2
Stockage géologique du CO_2

wissen wohin
savoir où
sapere dove
knowing where

swisstopo

Source: PCOR Atlas 2012

Dr. Christophe Nussbaum– swisstopo, Landesgeologie

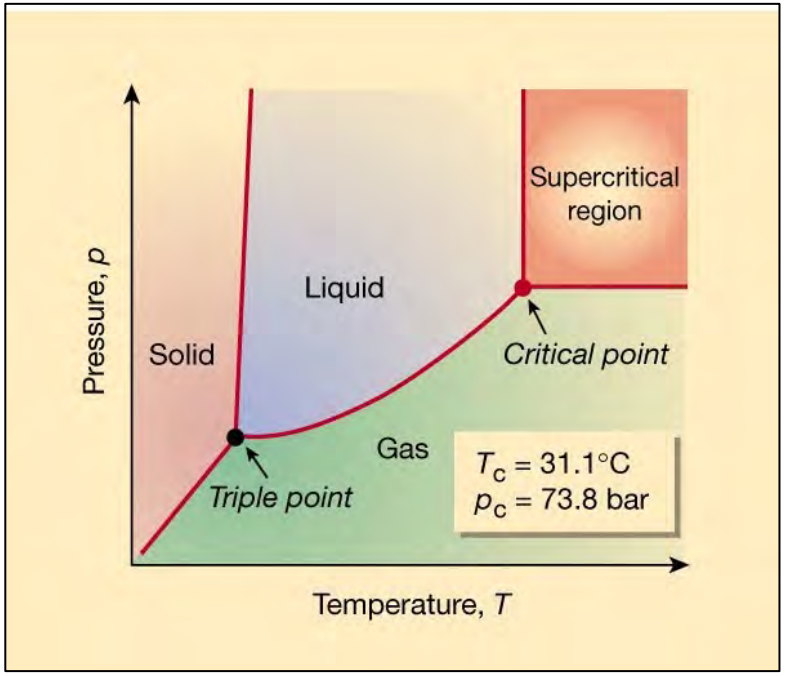
Pourquoi le stockage géologique du CO_2 est-il indispensable?

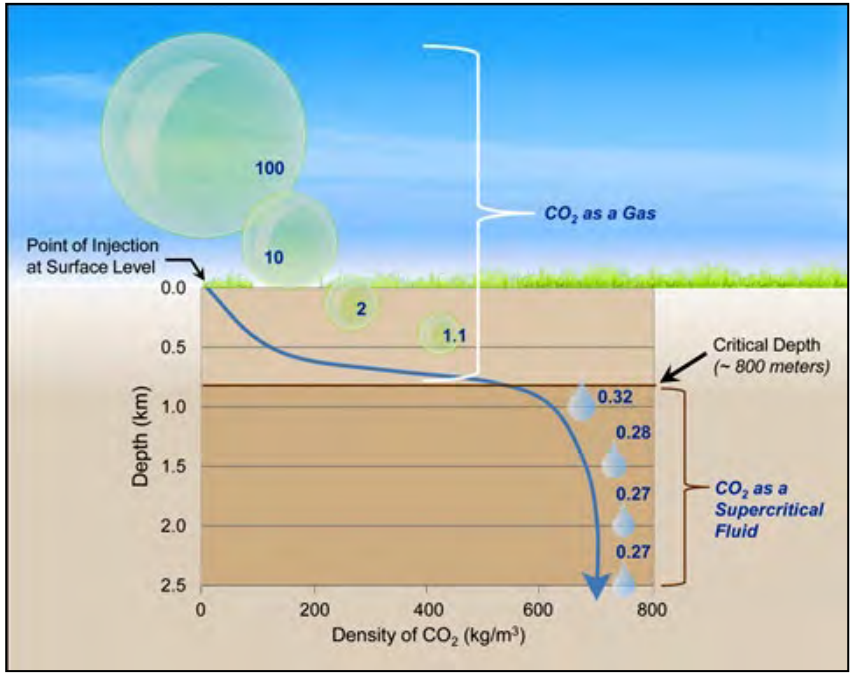
- Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté de 12% au cours de la dernière décennie, ce qui représente la plus forte augmentation des émissions moyennes décennales jamais enregistrée

- Pour limiter le réchauffement à +1.5°C, les projections suggèrent que les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent atteindre un pic entre 2020 et 2025, diminuer de 45 % d'ici à 2030 et atteindre un niveau net nul d'ici à 2050

- **Le méthodologie du CCS sera indispensable pour stocker les émissions inévitables des sources ponctuelles résiduelles de CO_2 et surtout pour atteindre les objectifs climatiques.**

Diagramme de phase et propriétés du CO_2





Quelle: Leitner, 2000

Stockage du CO_2 en conditions supercritiques: donc plus profond que 800 m!

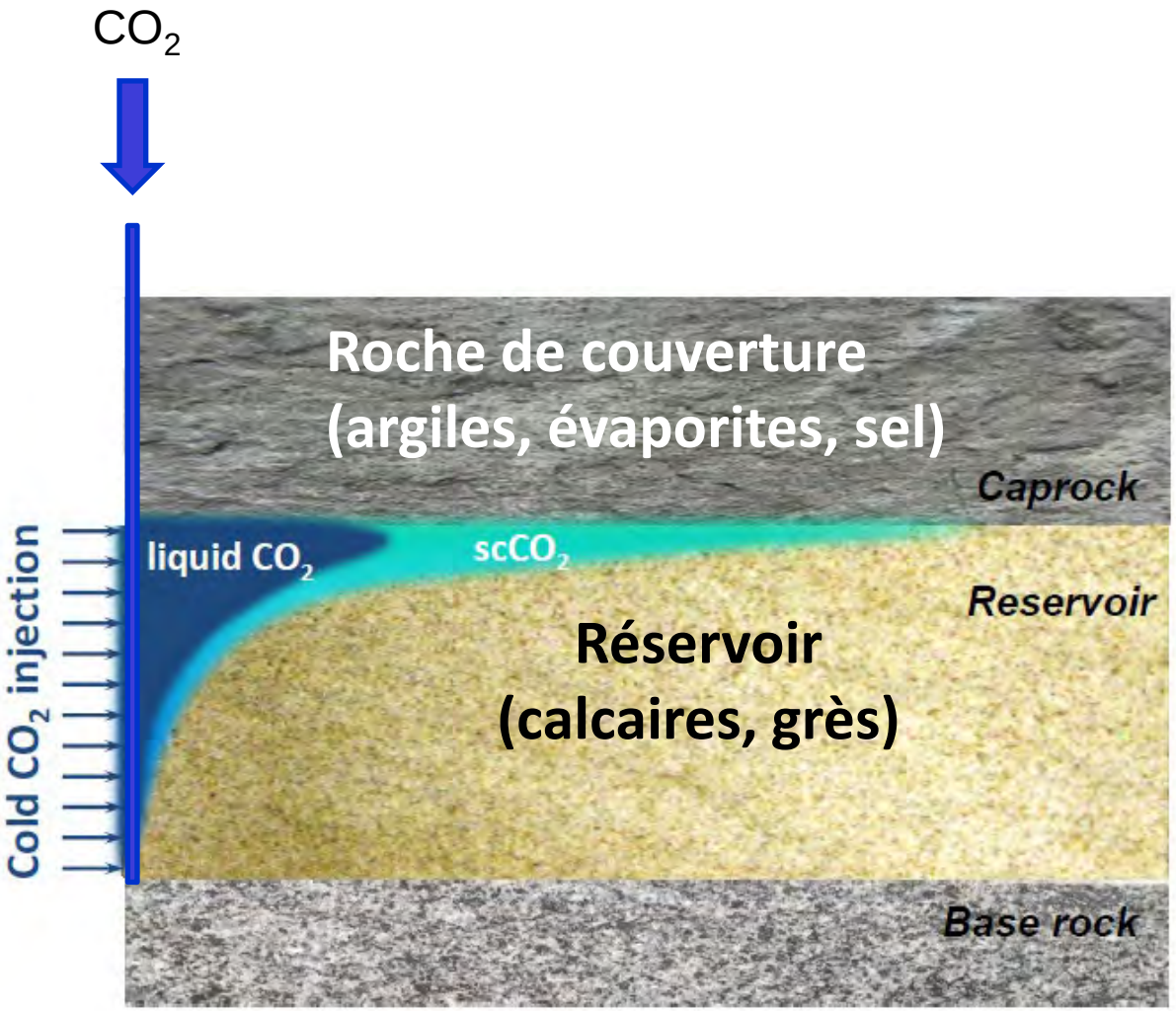
Profondeur de stockage: entre 800 m et 2500 m

Concept du stockage géologique du CO_2: 3 conditions majeures

1. **Réservoir pour stocker le CO_2** = roches perméables et poreuses

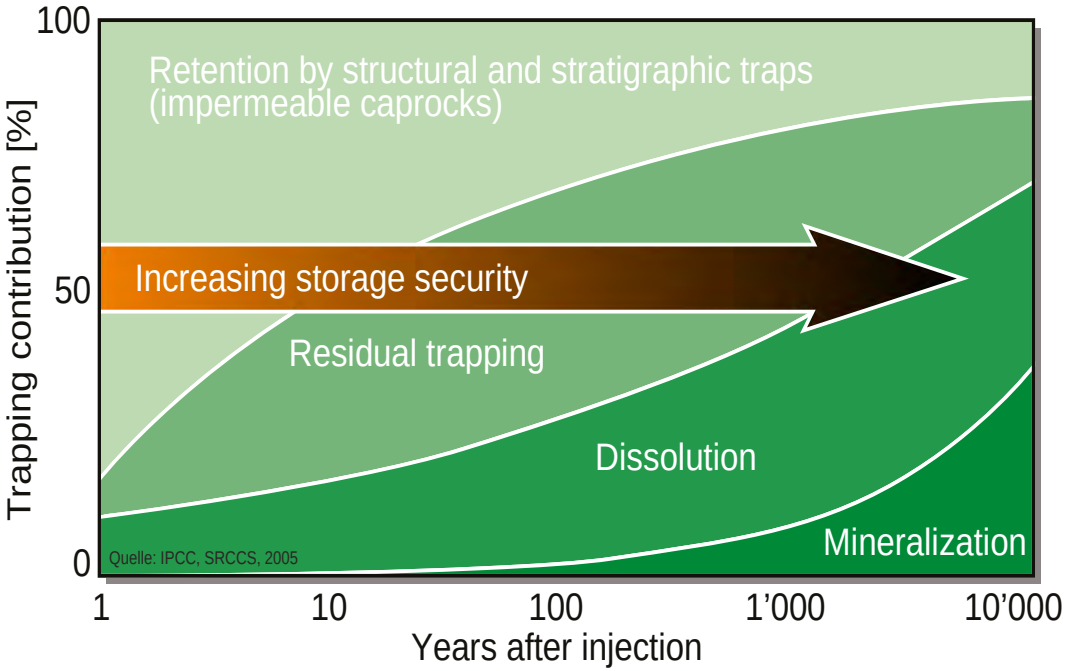
2. **Roche de couverture étanche** pour éviter les fuites de CO_2 vers la surface

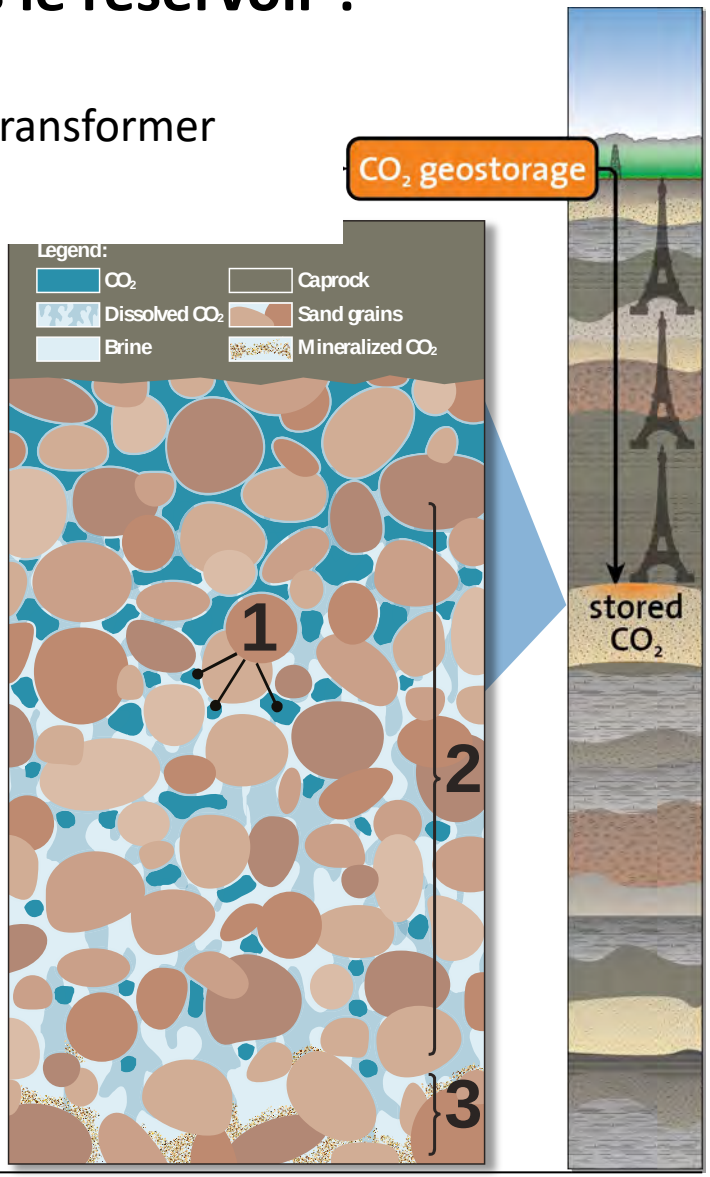
3. **>800 m de profondeur (=état supercritique du CO_2):** réduction du volume par un facteur 500 par rapport à la surface (permet de stocker davantage de CO_2)



Comment se transforme le CO_2 dans le réservoir ?

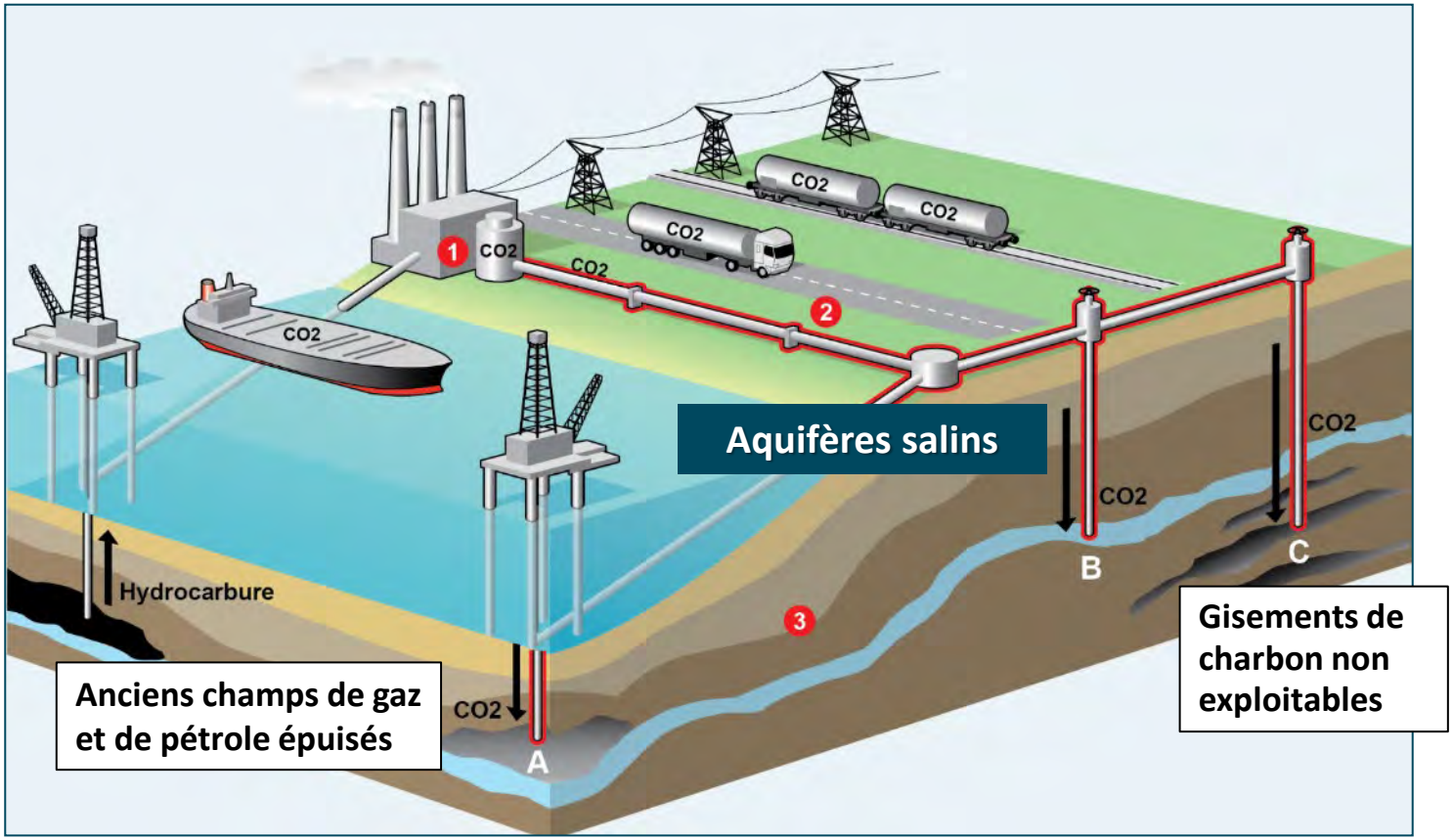
Après un certain temps, le CO_2 supercritique va se transformer en eau salée et en phases minérales solides





Quelle: IPCC, SRCCS (2005)

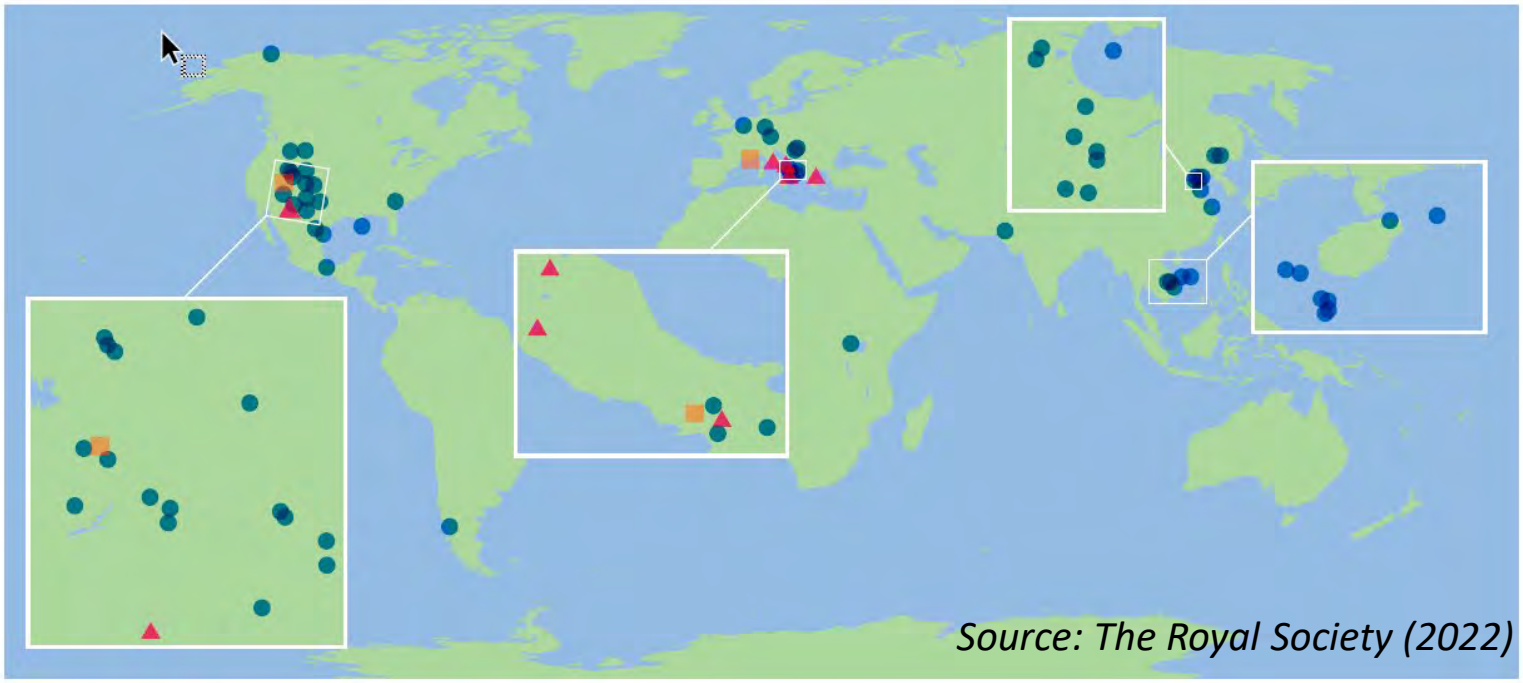
Les possibilité de stockage du CO_2



La capacité totale de stockage mondial est estimée entre **8 000 Gt et 55 000 Gt**, c'est nettement plus que ce qui est nécessaire pour le CCS!

Le CO_2 est naturellement présent dans le sous-sol

Les plus grands réservoirs naturels de CO_2 dans le monde



Le CO_2 est produit par plusieurs processus naturels, dont certains sont associés au cycle du carbone, qui conduisent à l'accumulation de CO_2 dans des réservoirs de subsurface où il peut rester piégé sur des échelles de temps géologiques. Par exemple, le CO_2 a été piégé pendant des **dizaines de millions d'années** dans des gisements d'hydrocarbures et les aquifères profonds.

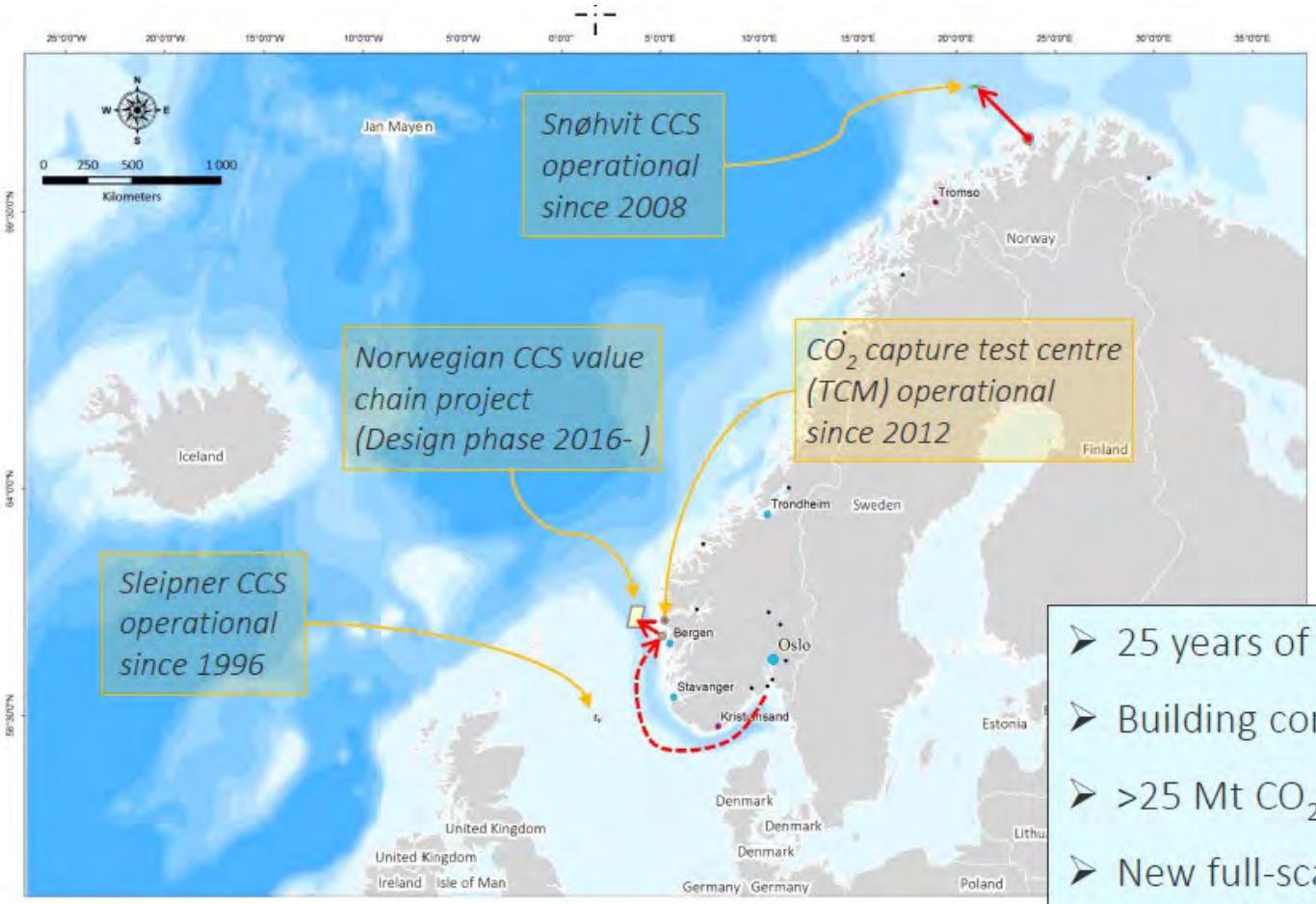
Projets industriels de stockage de CO_2 dans le monde

- 27 projets sont opérationnels et stockent **36.6 $MtCO_2$/an**
- 62 autres projets sont soit en construction (n=4) ou en phase de développement avancé (n=58)
- 44 autres projets sont à un stade précoce de développement
- Si tous ces projets sont déployés avec succès le potentiel de stockage cumulé serait d'environ **150 $MtCO_2$/an**

- L'injection de CO_2 pour le stockage géologique permanent est sûre et viable à l'échelle du $MtCO_2$/an actuellement……
- Pour atteindre les objectifs «zéro émission de carbone» en 2050, les besoins de stockage mondiaux devront atteindre l'échelle du $GtCO_2$/an……..

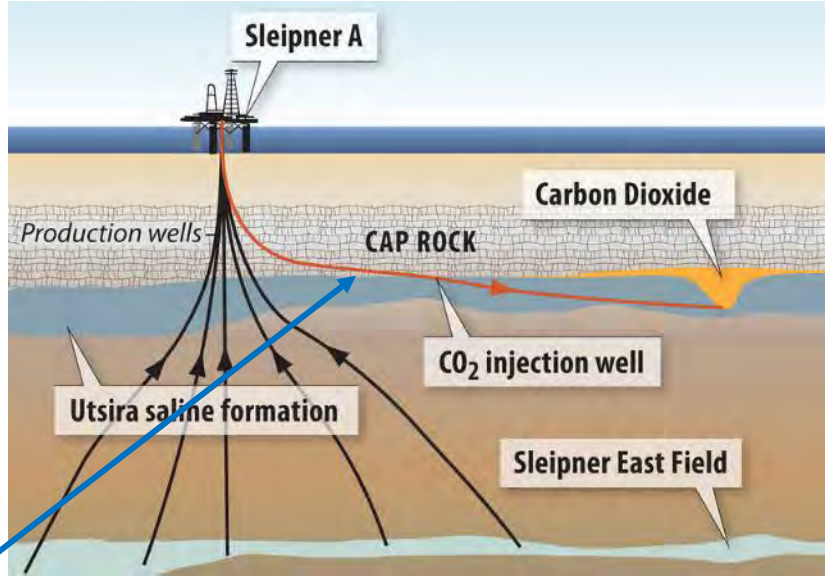
Source: Global CCS Institute (2021)

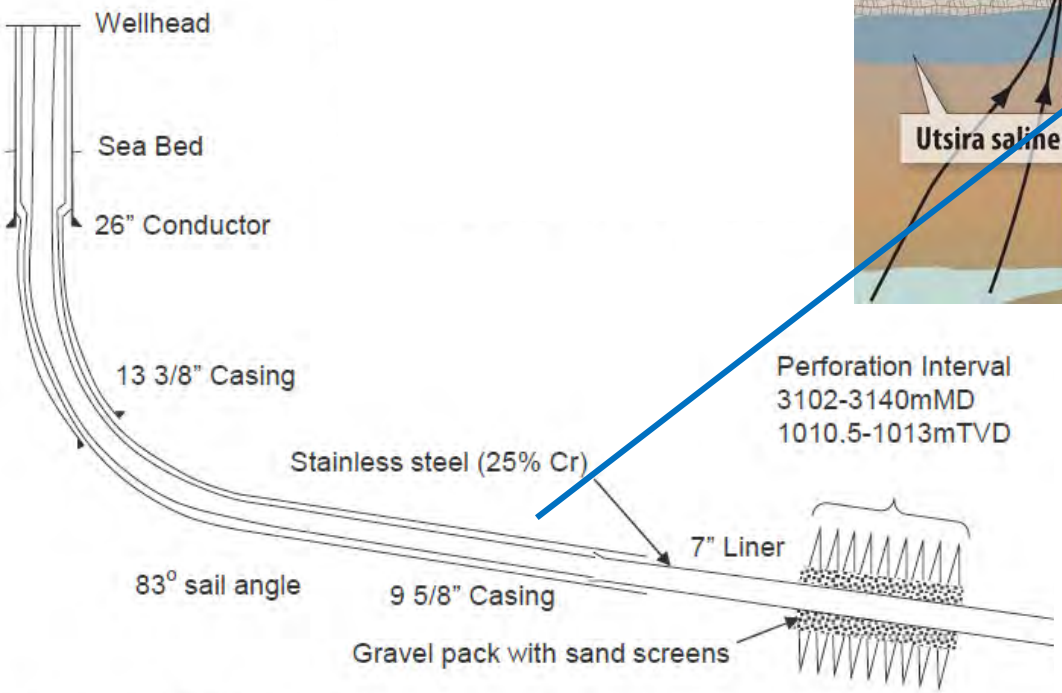
La Norvège, leader mondial dans le stockage du CO_2



- 25 years of operations
- Building confidence in CCS
- >25 Mt CO_2 stored
- New full-scale CCS project being developed

Sleipner: stockage industriel de CO_2 depuis 1996





Sleipner CO2 injection well 15/9-A16
(redrawn from Hansen et al. 2005).

- Début en 1996
- 1 $MtCO_2$/an
- 25 $MtCO_2$ en 25 ans

Conclusion sur l'état actuel du stockage dans le monde

- Le déploiement mondial du CCS est nettement inférieur à celui qui devrait être nécessaire pour limiter le réchauffement à +1.5°C ou +2°C
- L'infrastructure mondiale de stockage **actuelle** permet de stocker seulement **40 $MtCO_2$/an**
- Les besoins de stockage seront de **7 à 8 $GtCO_2$/an d'ici à 2050**, et un stockage cumulé d'environ **350 à 1200 $GtCO_2$ est estimé d'ici 2100**
- Avec des puits d'injection de CO_2 ayant une injectivité d'environ 1 à 2 $MtCO_2$/an, il faudra développer à l'échelle mondiale **plusieurs milliers de puits d'injection de CO_2 d'ici 2050** (12'000 puits selon une étude récente)
- Toutefois, il suffirait d'une fraction du taux historique mondial de développement des puits de pétrole offshore pour répondre aux besoins mondiaux en matière de stockage géologique du CO_2

Et en Suisse?
La feuille de route CCS et NET de la Confédération

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bern, 18. Mai 2022

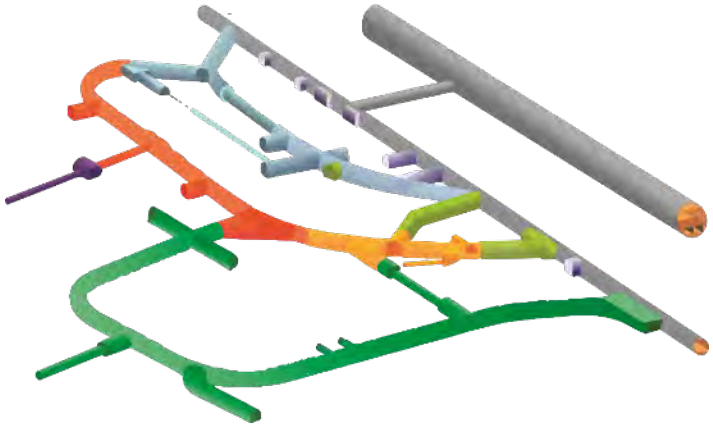
CO_2-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET)

Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können

Bericht des Bundesrates

Déjà 10 ans de recherches sur le CO_2 dans le laboratoire souterrain du Mont Terri…… Focus sur le caprock!

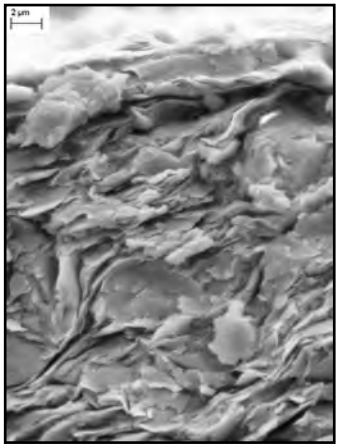
- Notre laboratoire souterrain offre un site unique (au monde) pour caractériser une formation argileuse (Argiles à Opalinus) utilisée à la fois comme roche de couverture (CO_2) ou roche d'accueil (déchets radioactifs). L'échelle des investigations menées (1-100 m) est **essentielle** entre le futur site réel de stockage (km) et les essais sur échantillons en laboratoire de surface (mm-cm).
- **Avantages:** Laboratoire dirigé par le Service géologique national (swisstopo), possède plus de 25 ans d'expériences grâce au projet d'entreposage des déchets radioactifs, acquisition d'innombrables données, détermination des processus et paramètres des argiles. Réseau scientifique international très important.



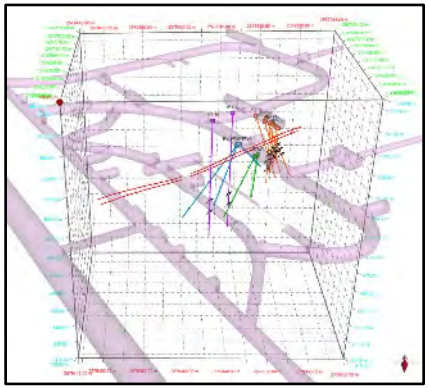
Objectifs des expériences CO_2 au Mont Terri

- Améliorer notre connaissance sur les processus et mécanismes contrôlant l'étanchéité des roches de couverture dans le contexte du stockage géologique de CO_2

- Vérifier et démontrer si les roches de couverture sont-elles vraiment imperméables à la migration de CO_2?

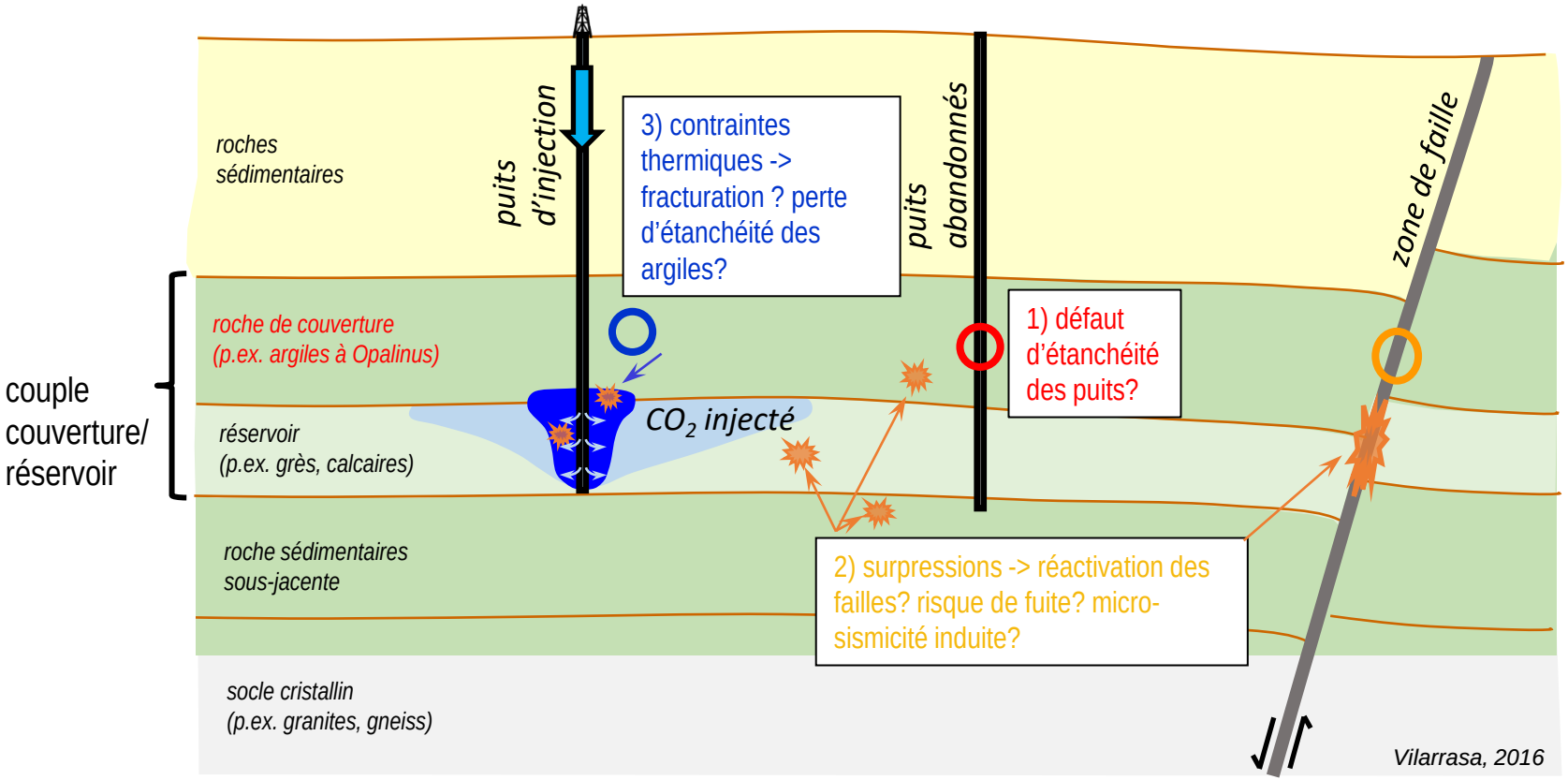


- Réaliser dans le laboratoire souterrain des expériences contrôlées à l'échelle décamétrique



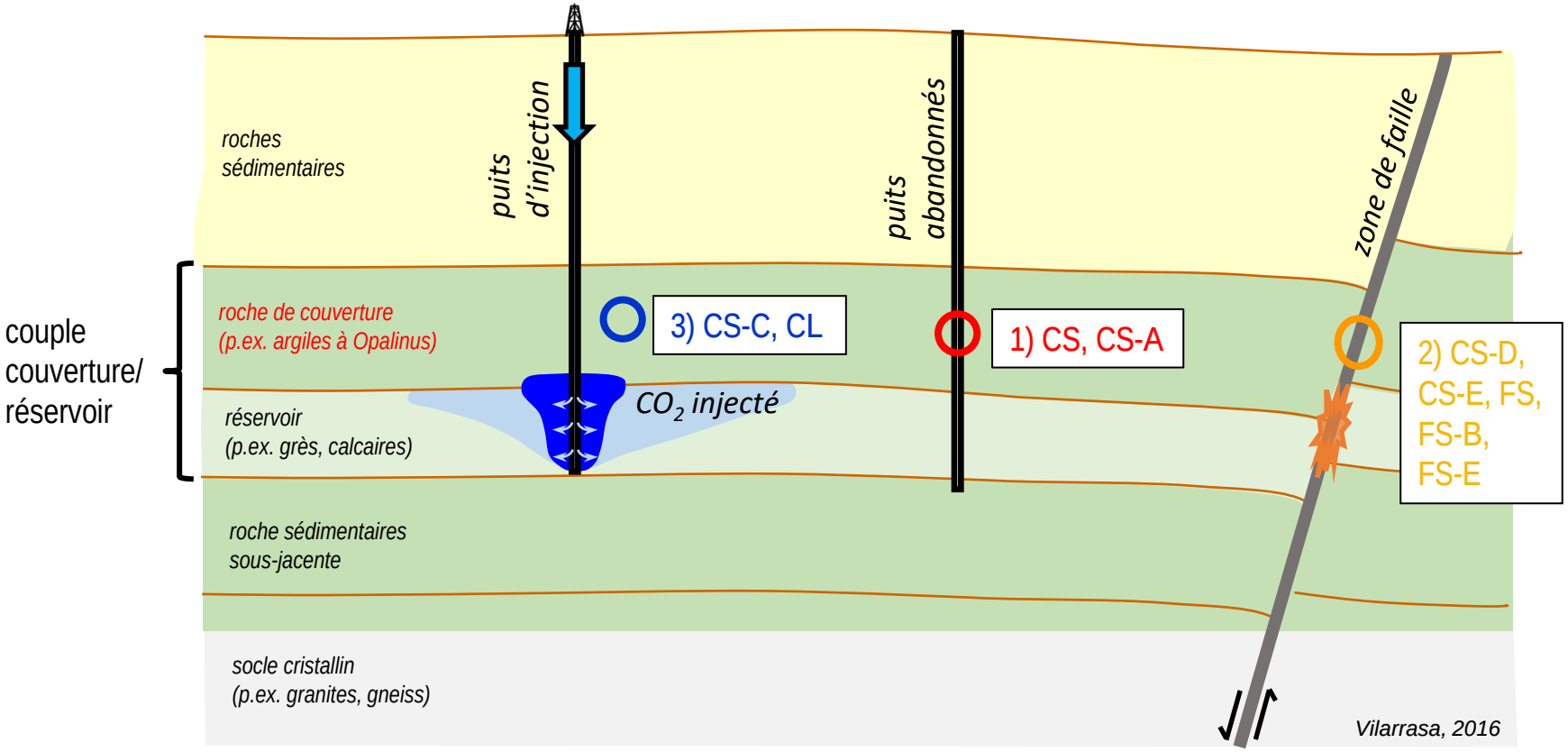
- Démontrer que les argiles à Opalinus sont une roche de couverture étanche pour prévenir des fuites de CO_2

Le stockage géologique de CO_2 dans le sous-sol: quels sont les risques?



- Les dangers potentiels proviennent d'éventuelles fuites massives et spontanées de CO_2 hors du réservoir: est-ce le CO_2 enfoui va-t-il remonter et atteindre la biosphère et l'atmosphère?
- Est-ce que les fuites de CO_2 peuvent-elles acidifier les eaux souterraines potables?
- Y'a-t 'il un risque de sismicité lié à l'injection de CO_2 dans le réservoir?

Les expériences du Mont Terri dans le contexte du stockage géologique de CO_2



1) Perte d'étanchéité des puits existants?

2) Risque de fuite le long des failles?

3) Etanchéité de la couche d'argiles?

Que faire du CO_2 résiduel, quelles sont les options pour la Suisse?

1. Exportation et stockage du CO_2 dans des projets industriels en **mer du Nord** (anciens champs gaziers épuisés, aquifères salins, projets Northern Lights, etc.)

2. Exportation et stockage dans des projets industriels en **Islande** (basalte, Carbfix)

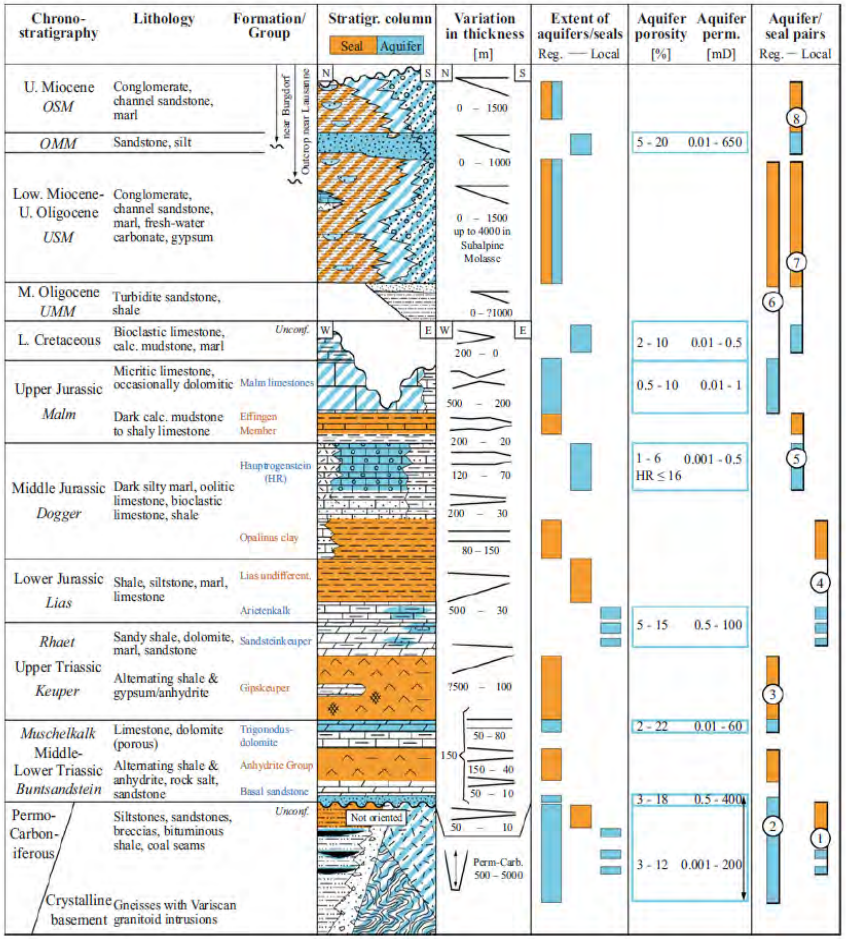
3. Stockage en **Suisse** sous le bassin molassique (aquifères salins profonds, potentiel de stockage encore mal connu)

La solution sera peut-être multiple!

Stockage du CO_2 en Suisse (étude du potentiel, UNIBE 2010)

7 couples caprock/reservoir sous le plateau suisse

1. Obere Meeresmolasse (OMM) Sandsteine / Obere Süsswassermolasse (OSM) Mergel
2. **Oberer Malm – Untere Kreide Kalk / Untere Süsswassermolasse (USM) Mergel**
3. **Hauptrogenstein Kalk / Effingen Member Kalkmergel**
4. Sandsteinkeuper, Arietenkalk Kalk / Lias, Opalinuston
5. **Oberer Muschelkalk/ Gipskeuper Evaporite**
6. **Buntsandstein und geklüftetes Kristallin (nicht sedimentär) Basement / Anhydrit Gruppe Evaporite**
7. Permokarbon-Trog Sandsteine / permische Schiefer oder Anhydrit-Gruppe Evaporite



Chevallier et al., 2010

Stockage du CO_2 en Suisse (étude du potentiel, 2019)

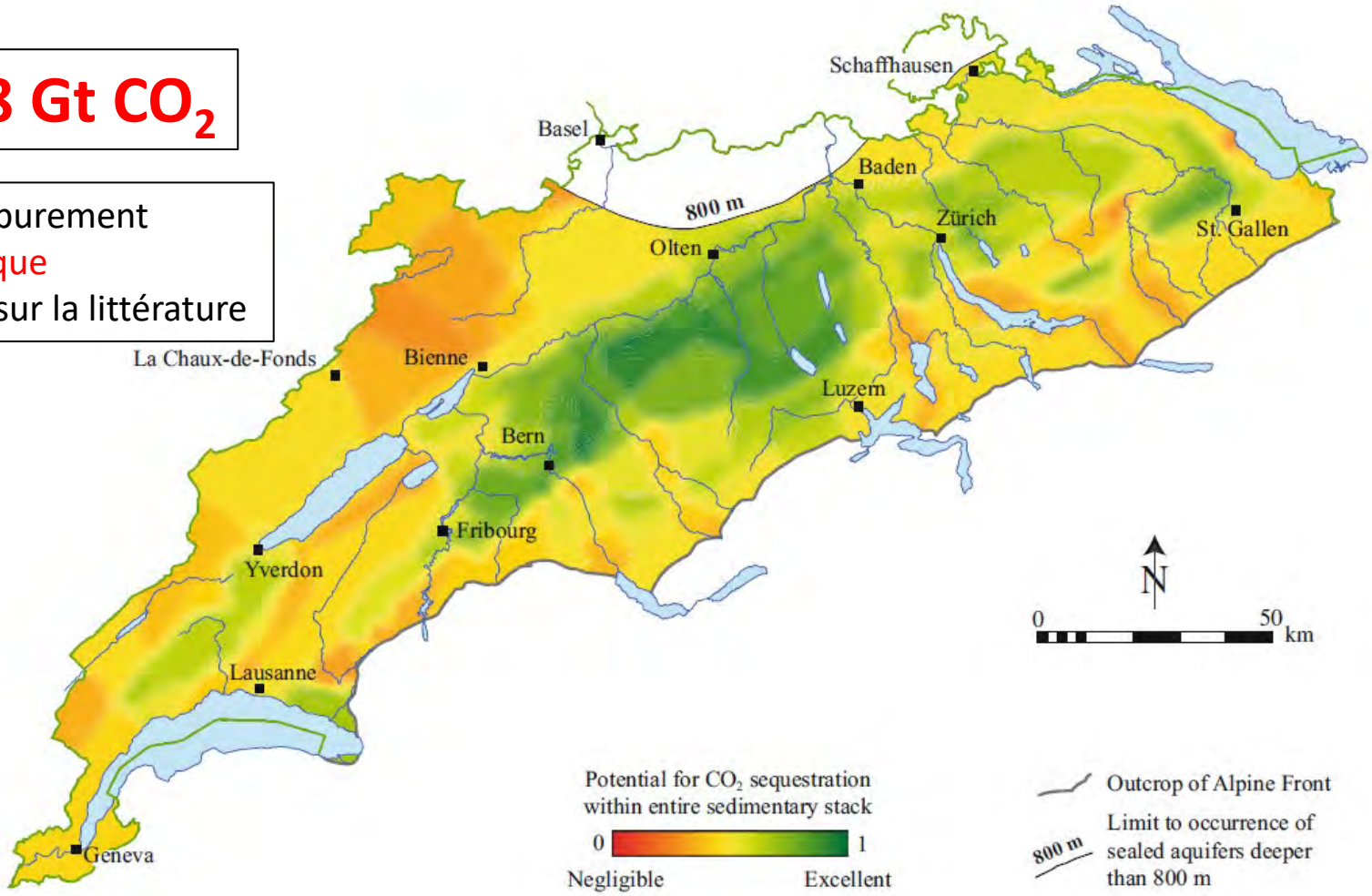
- Les principaux facteurs qui déterminent si une formation aquifère peut servir de réservoir à l'échelle industrielle pour le stockage du CO_2 sont **la porosité et la perméabilité** de la matrice du réservoir ainsi que la porosité et la perméabilité du réseau de fractures

- Les techniques industrielles actuelles nécessitent des porosités de matrice > 10 % en volume et une perméabilité > 10 mD pour injecter efficacement le CO_2 supercritique

Stockage du CO_2 en Suisse (étude du potentiel, UNIBE 2010)

2.68 Gt CO_2

Étude purement
théorique
basée sur la littérature

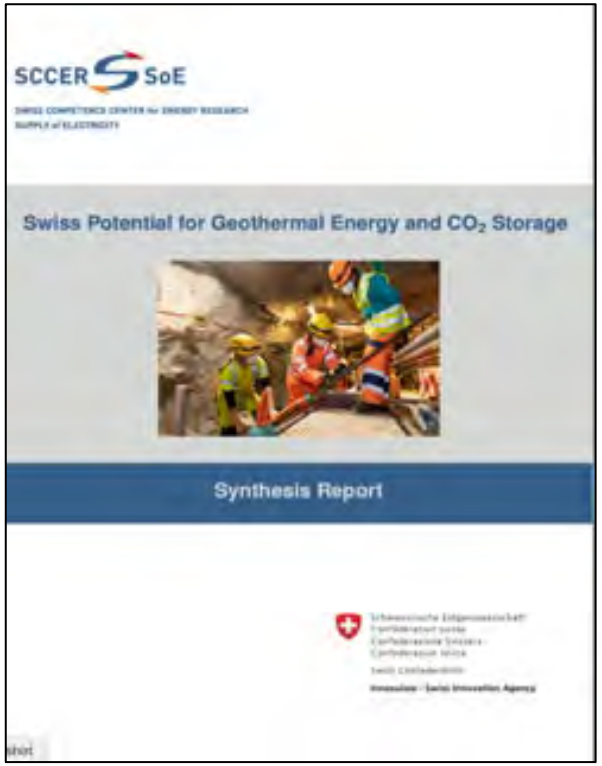


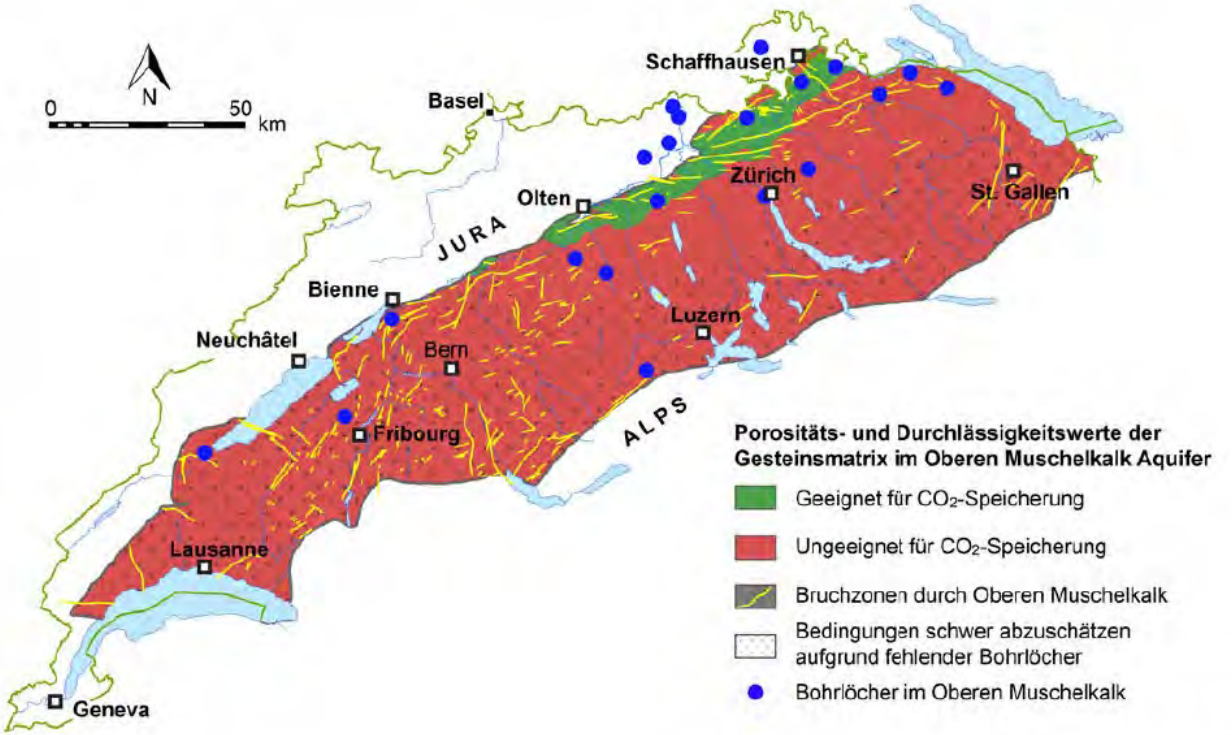
Chevallier et al. 2010

Stockage du CO_2 en Suisse (étude du potentiel, UNIBE 2019)

52 Mt CO_2

Réservoir privilégié: Muschelkalk supérieur





Diamond et al., 2019

Potentiel de stockage CO_2 dans le sous-sol suisse

- Un certain potentiel de stockage existe, mais sa valeur est inconnue et l'estimation de 52 millions de tonnes (étude 2019) est donc soumise à de très grandes incertitudes. Cela vaut également pour les près de 2 700 millions de tonnes (étude 2010), qui ne font pas l'objet de données solides et fiables
- **Enhanced storage:** La recherche sur le stockage augmenté du CO_2 vise à découvrir des méthodes permettant d'augmenter la fraction de l'espace poreux accessible et de réduire la perméabilité de la roche de couverture. Ces recherches ne sont pas encore bien développée, mais certaines approches possibles peuvent être adoptées à partir de celles utilisées lors de l’extraction du pétrole

Prochaines étapes: recommandations

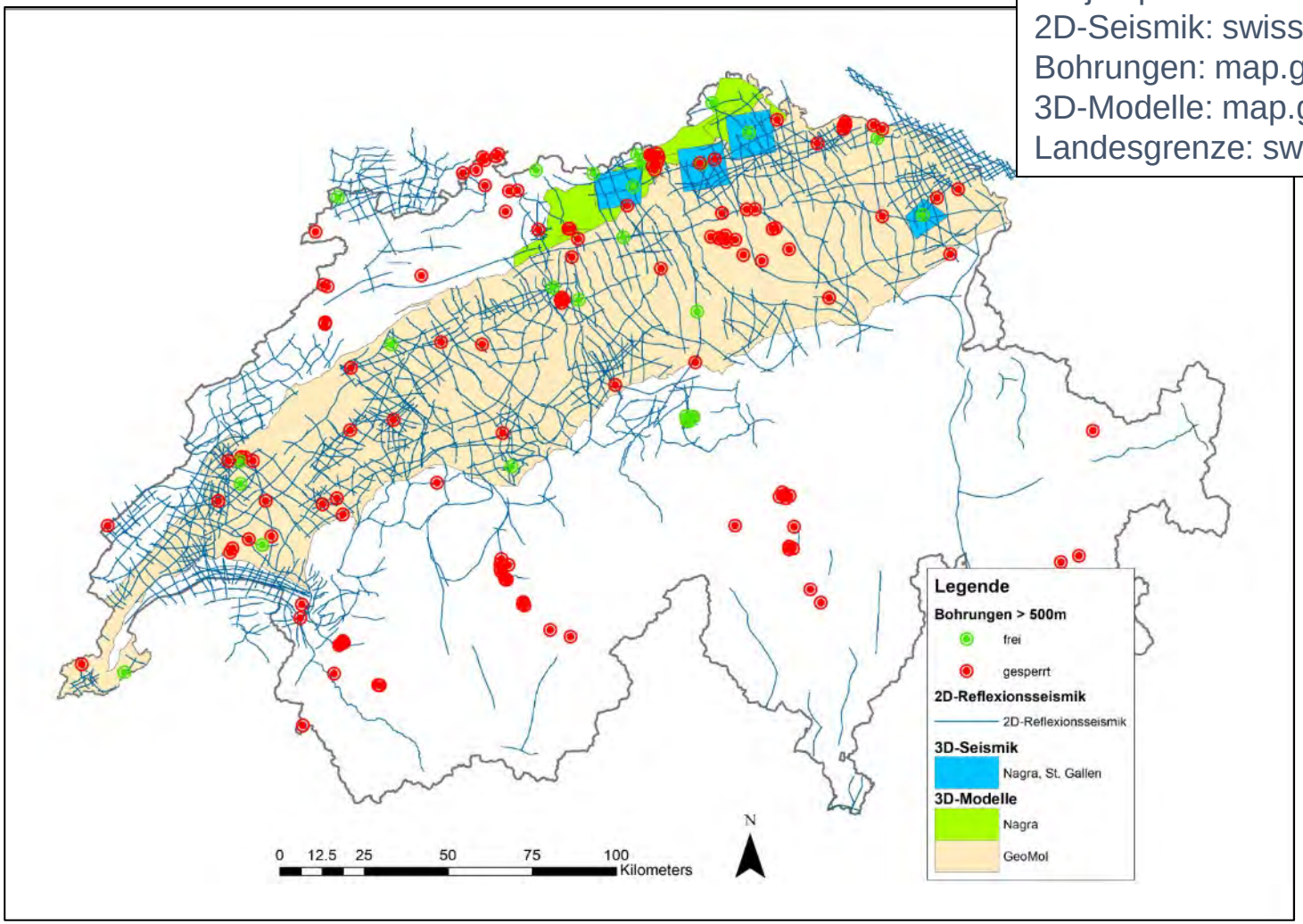
- **Play Fairway Analysis (swisstopo):** estimation plus précise du potentiel de stockage sous le plateau suisse avec les nouvelles données géologiques 3D de swisstopo combinées aux paramètres physiques (porosité, perméabilité) à disposition (notamment grâce aux forages profonds de la Nagra) et intégration du potentiel de stockage dans les roches fracturées et karstiques, modélisations

- **Initiation d'un pilote:** Nécessité de réaliser un projet pilote d'injection au plus vite pour obtenir des données in-situ des réservoirs potentiels dans les conditions réelles de stockage. Choix de la localité géographique en fonction de la géologie idéale et proche des points sources industrielles

- **Continuation des expériences au laboratoire du Mont Terri**: Etude des argiles comme roche de couverture étanche avec accent sur les risques de fuite potentielle (zones de failles et forages abandonnés). Collaboration avec les leaders mondiaux sur la recherche du stockage géologique du CO_2

Quels sont les données disponibles, comment sont-elles réparties?

Projektperimeter swisstopo / GeoMol
2D-Seismik: swisstopo / GeoMol
Bohrungen: map.geo.admin.ch
3D-Modelle: map.geo.admin.ch
Landesgrenze: swisstopo



Des certitudes

- Il faut un réservoir poreux et perméable (calcaires, grès) et, par-dessus, une roche de couverture imperméable (argiles). Le sous-sol suisse possède cela!
- Un confinement sûr doit être garanti pour une période de 10'000 ans

……et des questions

- Feuille de route CCS et NET de la Confédération. Pas encore de loi pour l'instant.
- Exportation du CO_2 vers l'étranger et stockage en Suisse?
- Acceptation par la population suisse?

- **La Suisse doit utiliser dans la mesure du possible le potentiel de stockage de son sous-sol. Développer plusieurs clusters de forages à proximité des sources d'émissions de CO_2 (cimenteries, aciéries, usines d'incinération....). L'option de stocker (une partie) du CO_2 en Suisse est considérée par la Confédération, c'est important et une question d'éthique!**