

La connaissance du sous-sol pour le stockage géologique du CO₂

Groupe de réflexion « Adaptations & Territoire » - Deuxième réunion

Alina-Berenice Christ – IFP Energies nouvelles

Luca Mattioni – IFP Energies nouvelles

Grandpuits-Bailly-Carrois, 26/09/2023



The PilotSTRATEGY project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 101022664

IFP Energies nouvelles

Un organisme
public de R&I

Un centre
de formation

Un groupe
industriel

Un champ d'action international dans les domaines
de l'environnement, de l'énergie et du transport



1635 personnes



11 500 Brevets déposés
2005 Prix Nobel pour la Chimie



135 étudiants de
thèse et postdoc



1190 chercheurs



Environ **200** articles par an publiés dans des
journaux scientifiques internationaux

IFP Energies nouvelles

Climate, environment and circular economy

- Plastics recycling
- CO₂ capture, use and storage
- Air quality
- Environmental monitoring
- Climate/soil interactions and the water cycle
- Circular economy / LCA

Renewable energies

- Biofuels
- Biobased chemistry
- Biogas
- Offshore wind and ocean energies
- Geothermal energy
- Hydrogen
- Energy storage

Sustainable mobility

- Hybridization and electrification
- Electricity storage
- Connected vehicles
- Thermal engines
- Low-carbon fuels

Responsible oil and gas

- Fuels
- Petrochemicals
- Gas sweetening and conversion
- Basin modeling
- Reservoir simulation
- Enhanced oil recovery (EOR)
- Offshore production



Équipe modèle géologique

Alina-Berenice Christ, M.Sc.

Ingénieur en modélisation géologique

alina-berenice.christ@ifpen.fr



Luca Mattioni, PhD

Géologue senior

luca.mattioni@ifpen.fr

notre mission dans le projet PilotSTRATEGY

→ Créer un **modèle géologique du sous-sol**



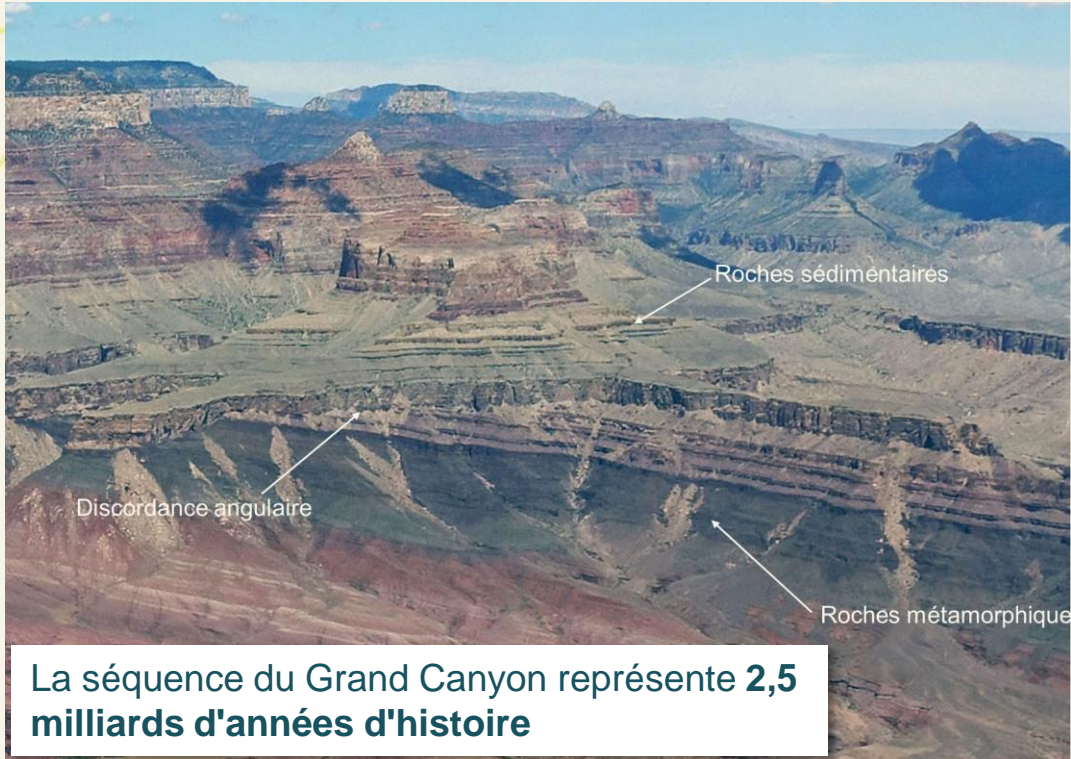
Comment imaginez-vous le sous-sol?



2000 m



Les roches sur la surface de la Terre



Grand Canyon du Colorado (Etats Unis)

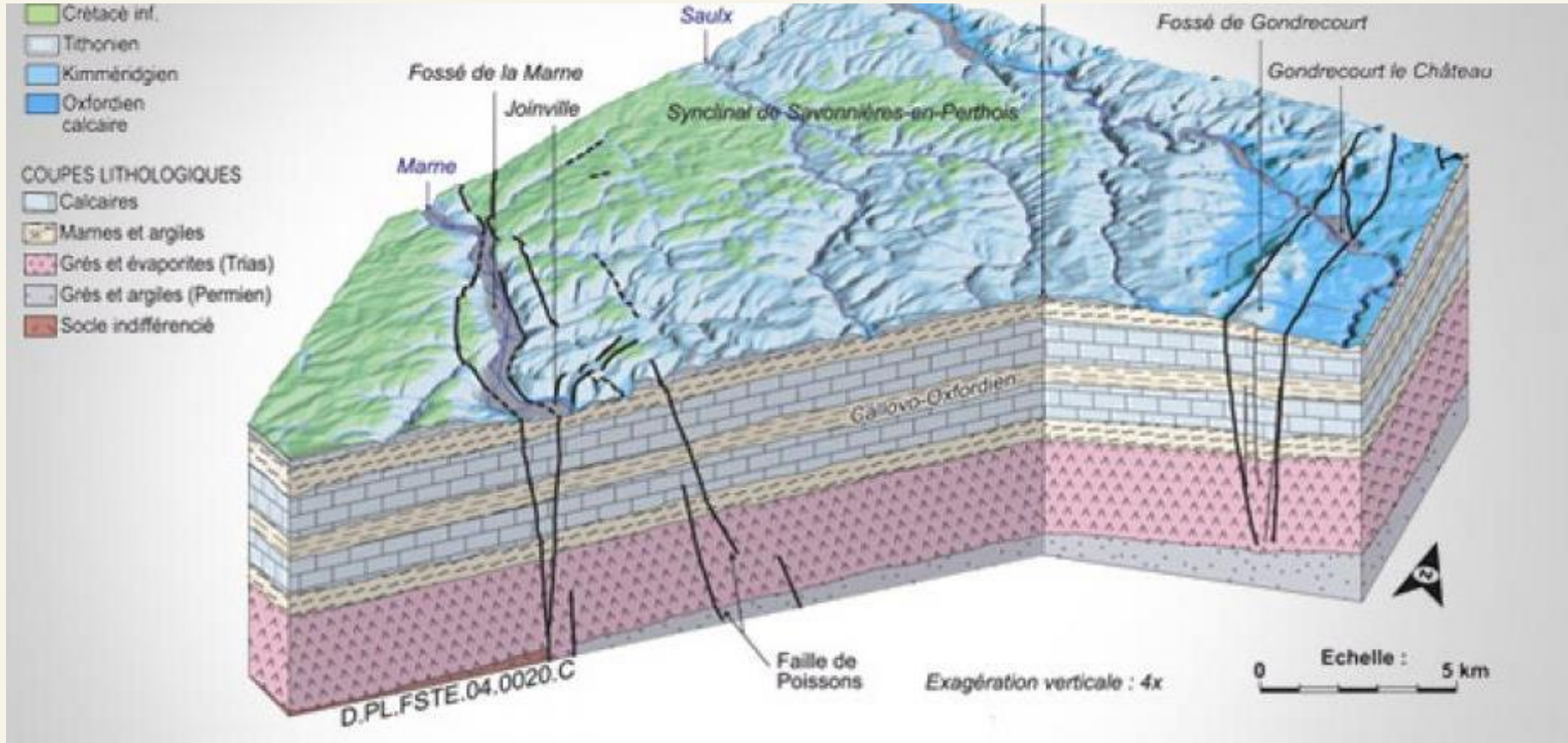
- Pour les êtres humains, le temps se matérialise le plus souvent par la trotteuse de l'horloge qui marque les secondes, les minutes ou les heures, le calendrier qui indique les jours, les mois, les années.
- En géologie, le temps **est le plus souvent matérialisé par une séquence de roches.**



- Pour les géologues, les roches sur la surface de la Terre constituent un **extraordinaire analogue pour comprendre le sous-sol.**



Le sous-sol de la Terre



- Comment pouvoir étudier les roches dans le sous-sol?
- Comment pouvoir les modéliser?



Quelles données pour étudier les roches dans le sous-sol?

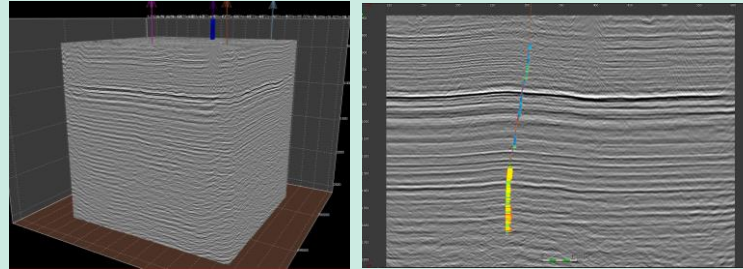
Les affleurements



Informations directes sur:

- La lithologie
- La composition des roches
- Les propriétés physiques des roches
- Les structures naturelles (failles, plis, etc)

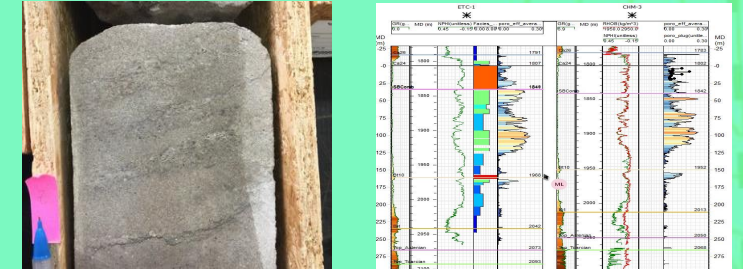
L'imagerie sismique



Informations directes sur:

- La géométrie 3D des couches géologiques (les surfaces géologiques)
- La géométrie 3D des grandes structures naturelles (failles, plis, etc)

Les puits des forages

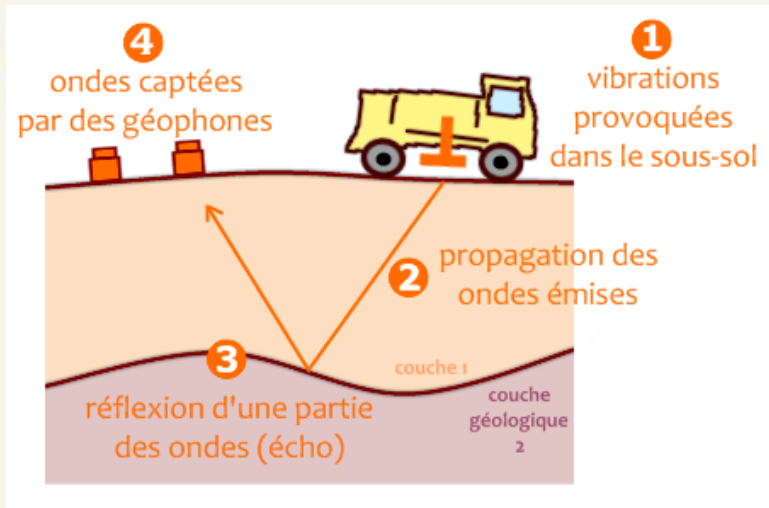


Informations directes et indirectes sur:

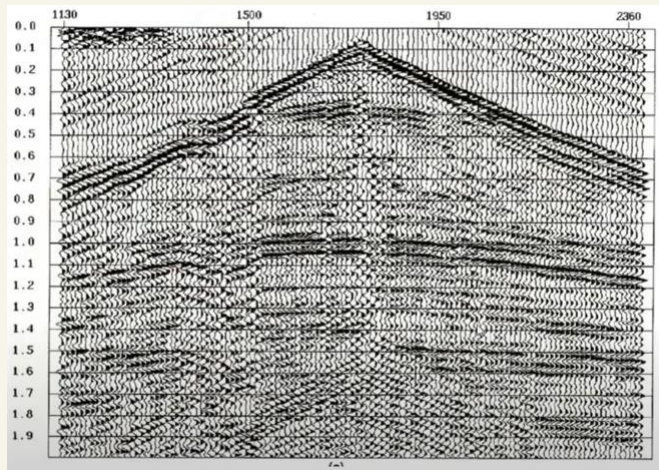
- La lithologie
- La composition des roches
- Les propriétés physiques des roches



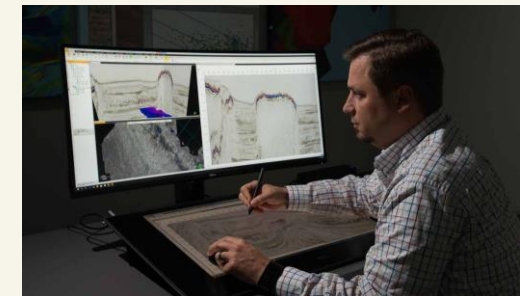
Le sous-sol de la Terre – l’imagerie sismique



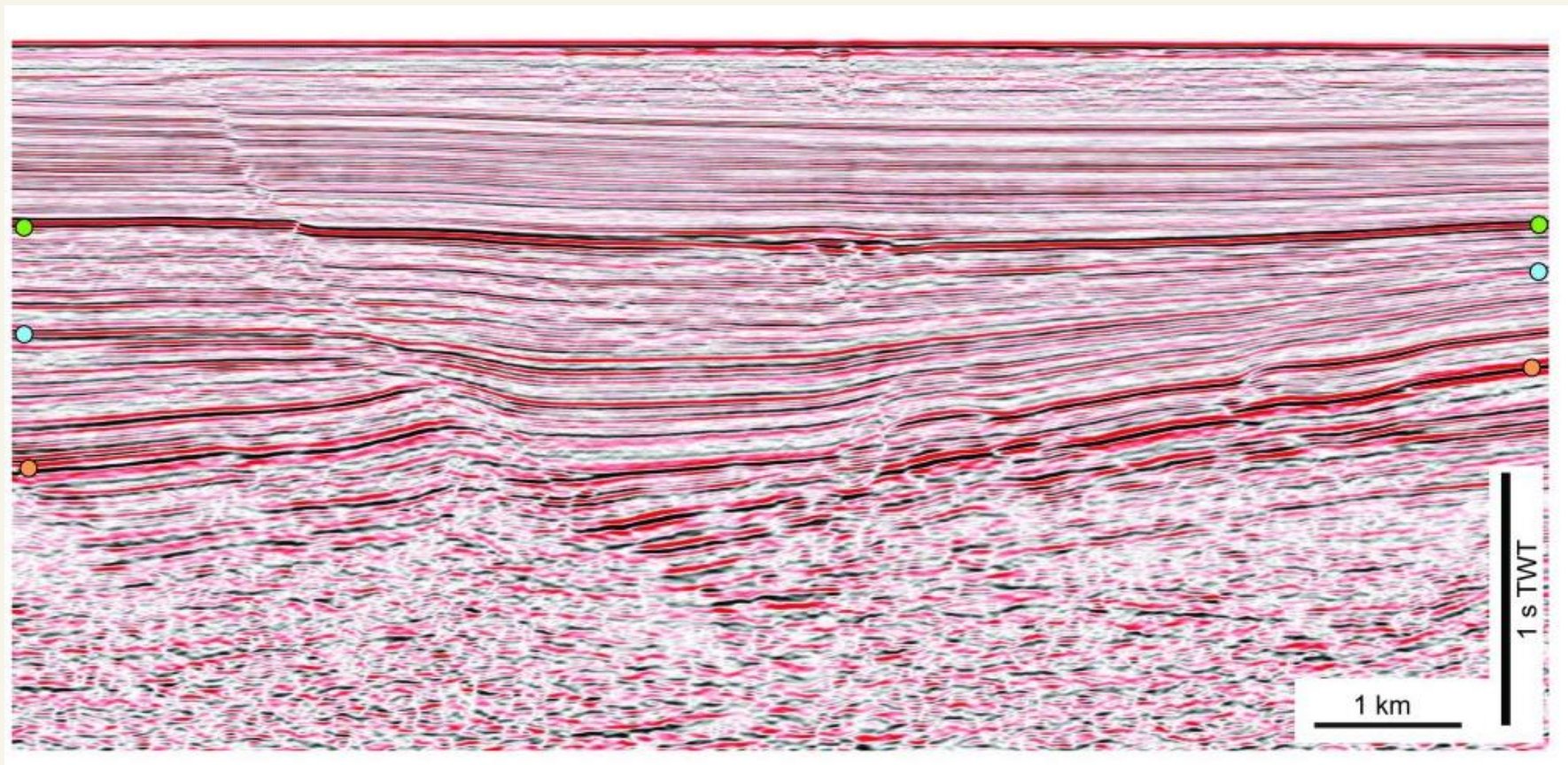
- La **sismique réflexion** est une technique non invasive qui consiste à réaliser une image du sous-sol en générant des **ondes acoustiques** à l'aide des camions vibrateurs, comme une **écographie à grande échelle**.
- Les vibrations, de **très faible amplitude**, se propagent dans le sous-sol et se réfléchissent lorsqu'un changement de couche géologique est rencontré. Les réflexions remontent en surface et sont enregistrées à l'aide des capteurs sismiques.



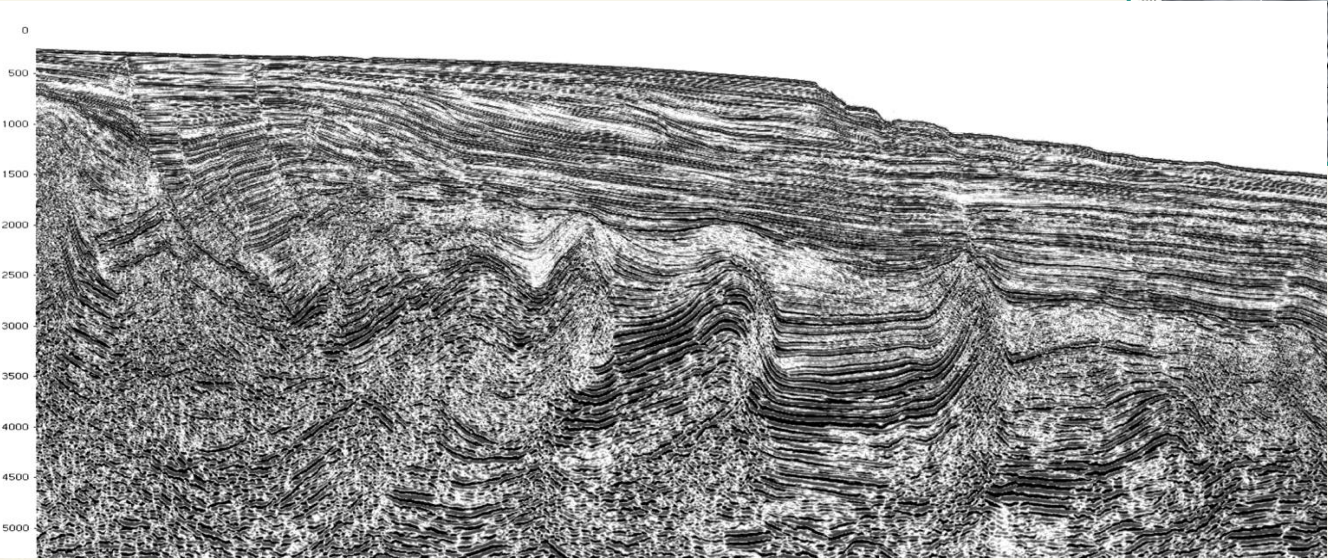
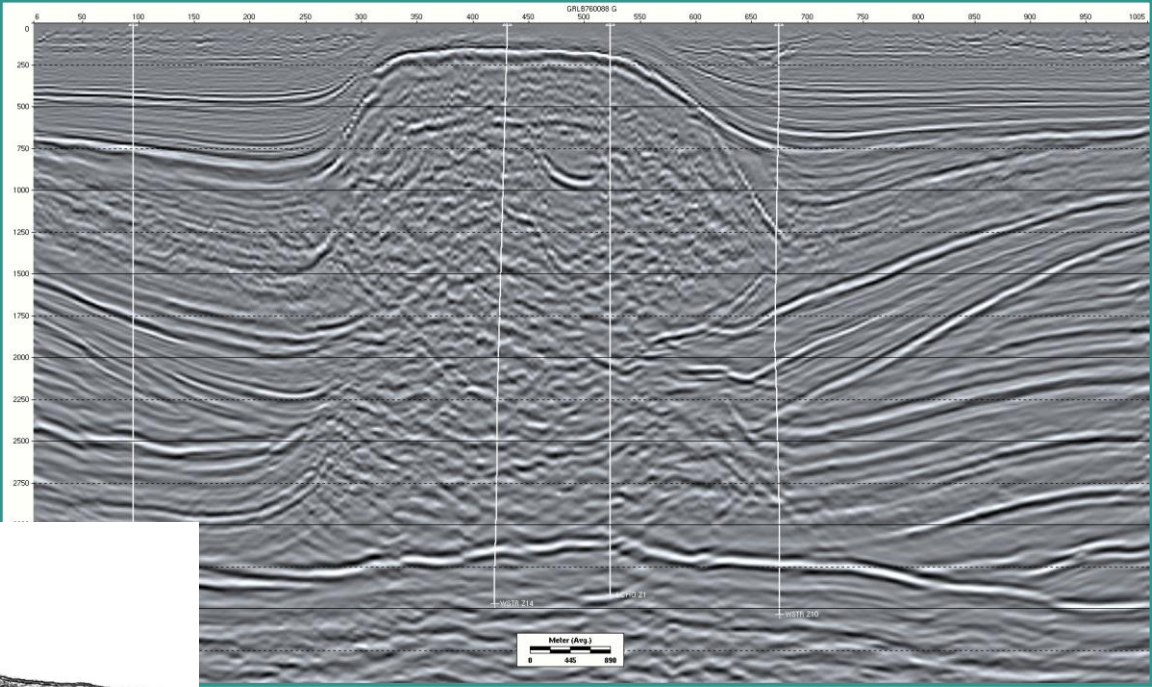
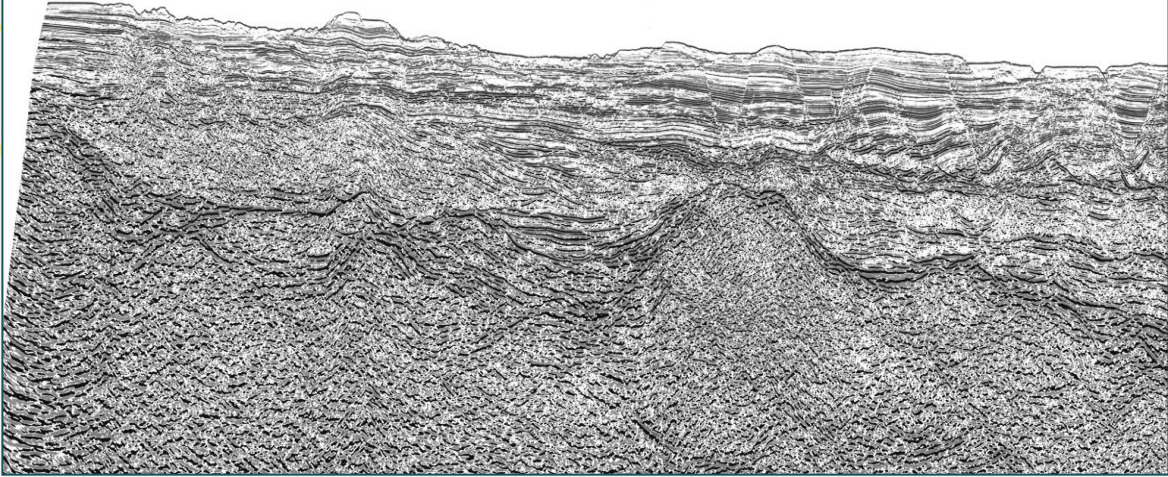
- Les géophysiciens traitent le signal sismique reçu et reconstituent une image du sous-sol en profondeur



Le sous-sol de la Terre – l'imagerie sismique

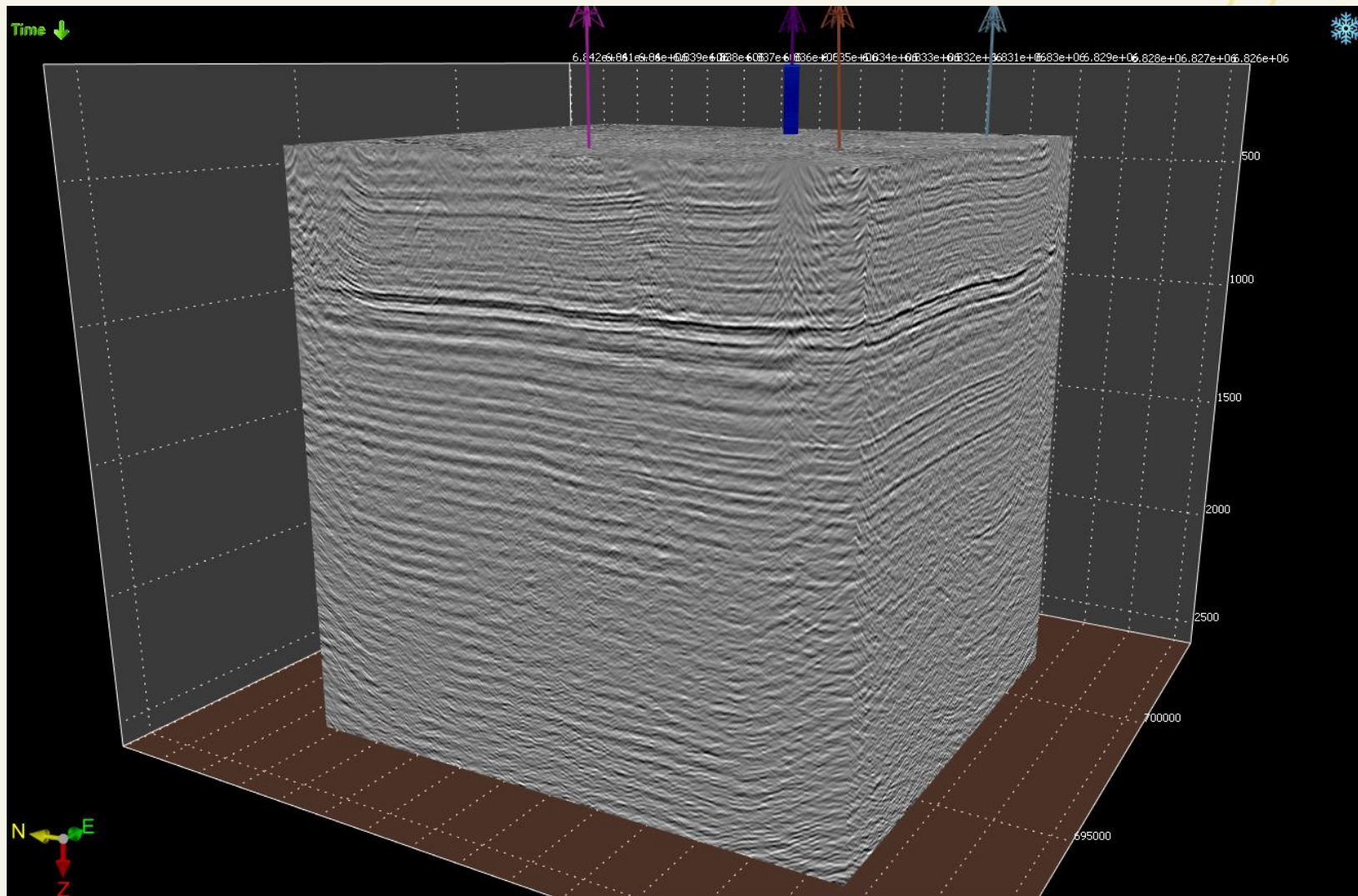
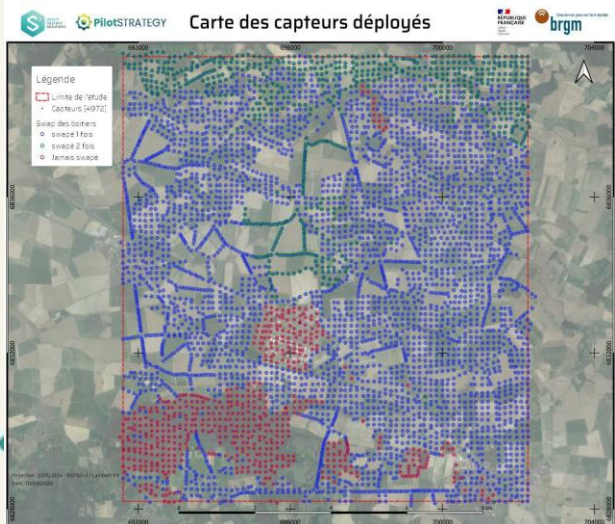


Le sous-sol de la Terre – l'imagerie sismique



Le sous-sol de Grandpuits – l'imagerie sismique

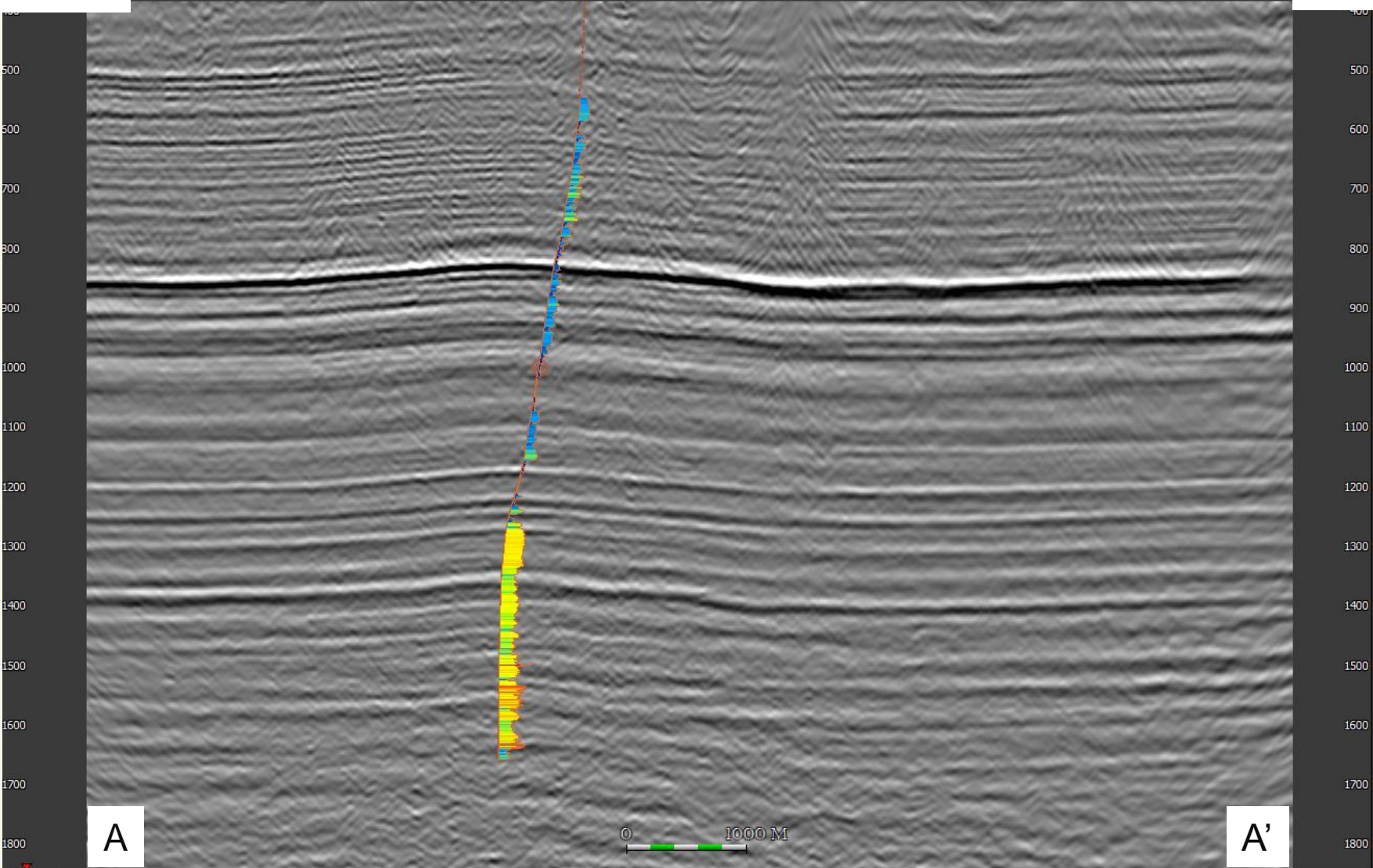
Campagne d'acquisition sismique 3D dans le cadre de PilotSTRATEGY



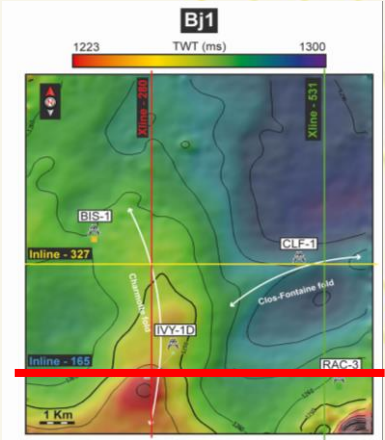
Le sous-sol de Grandpuits – Les résultats de l'interprétation sismique

Ouest

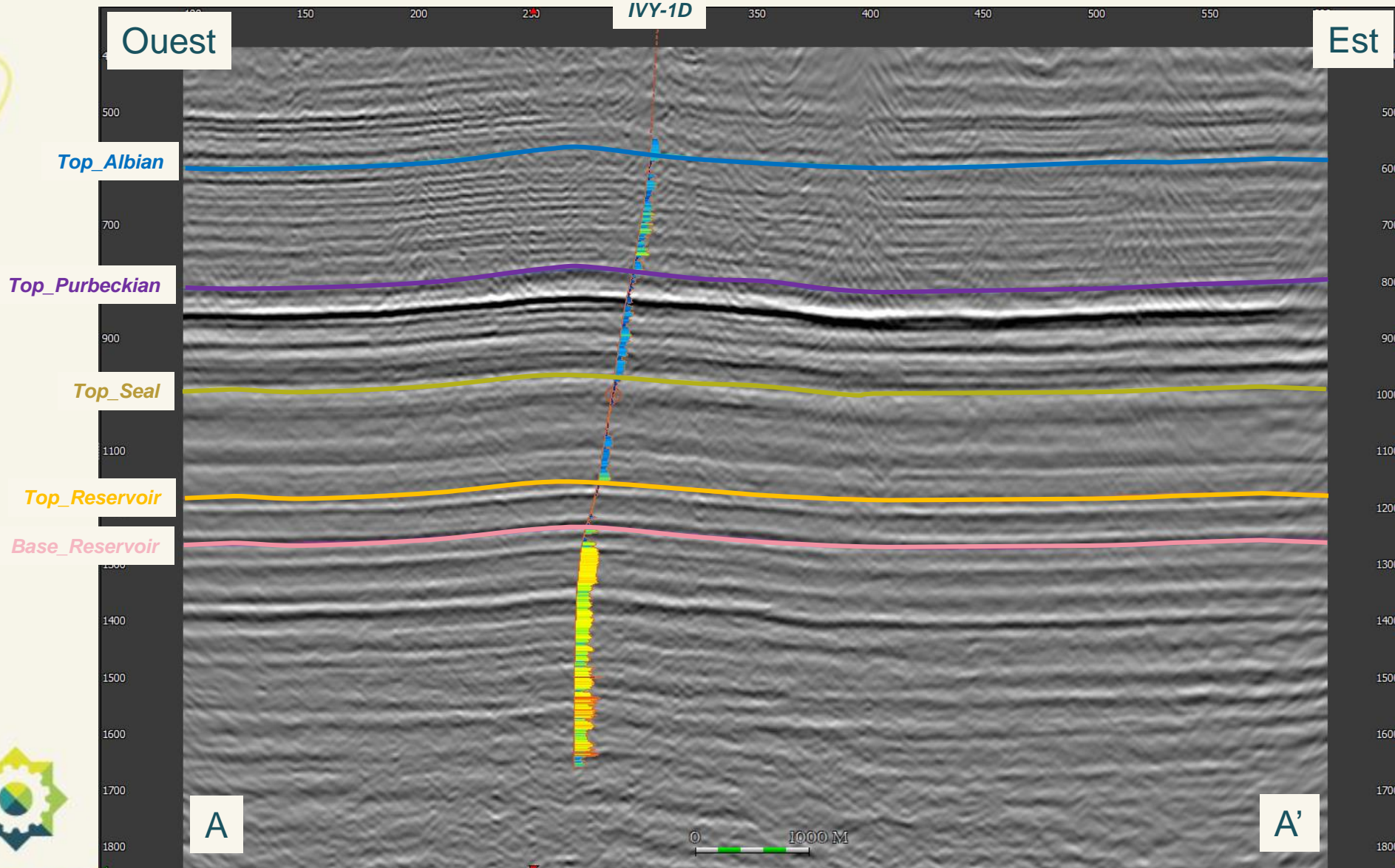
Est



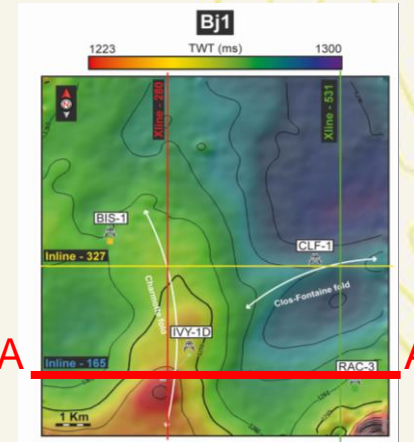
Inline 165



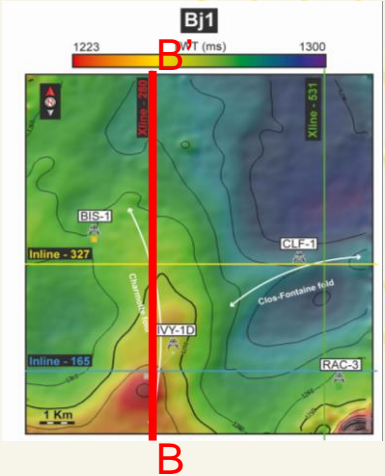
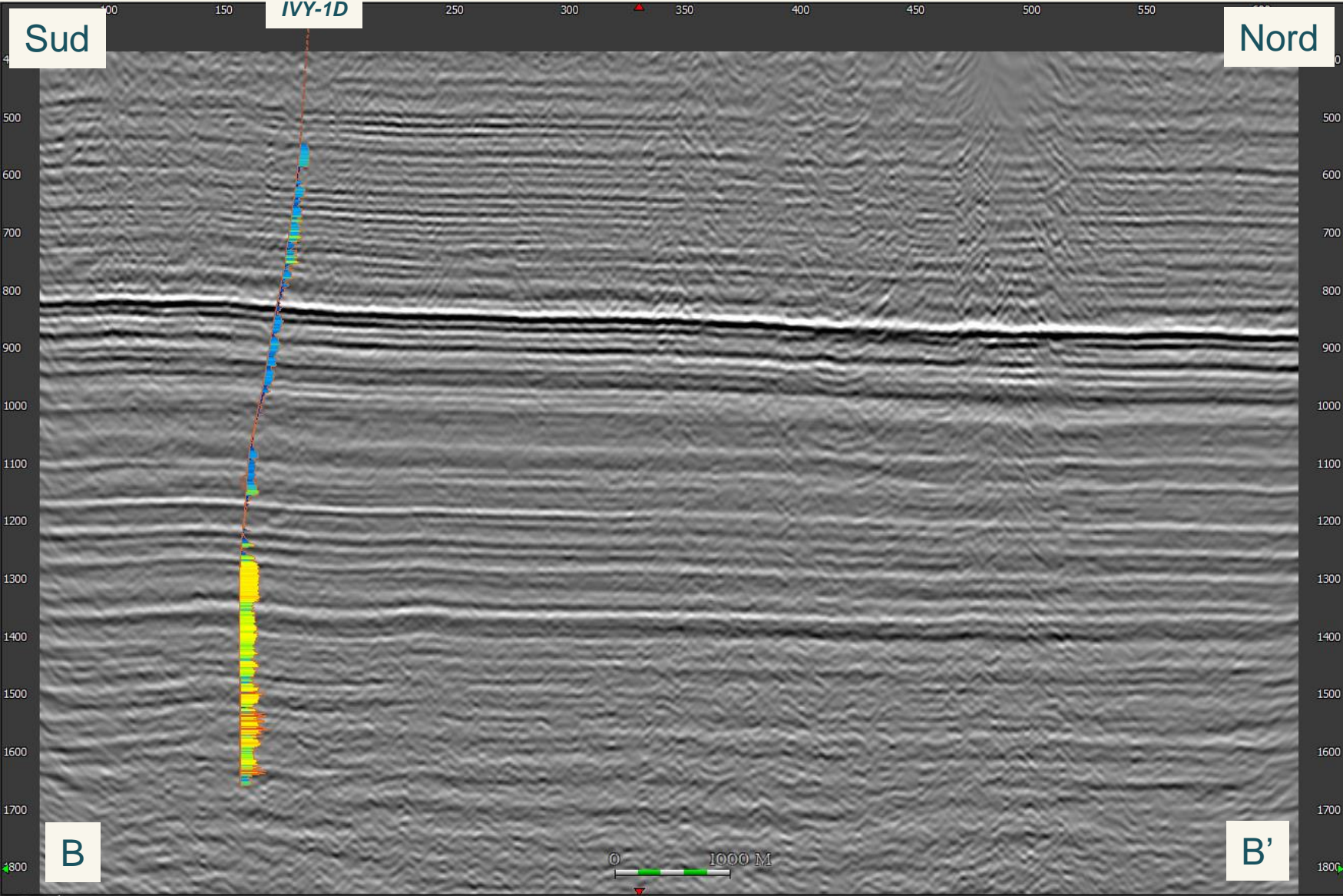
Le sous-sol de Grandpuits – Les résultats de l'interprétation sismique



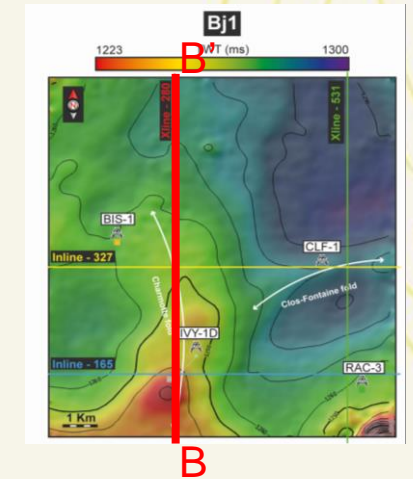
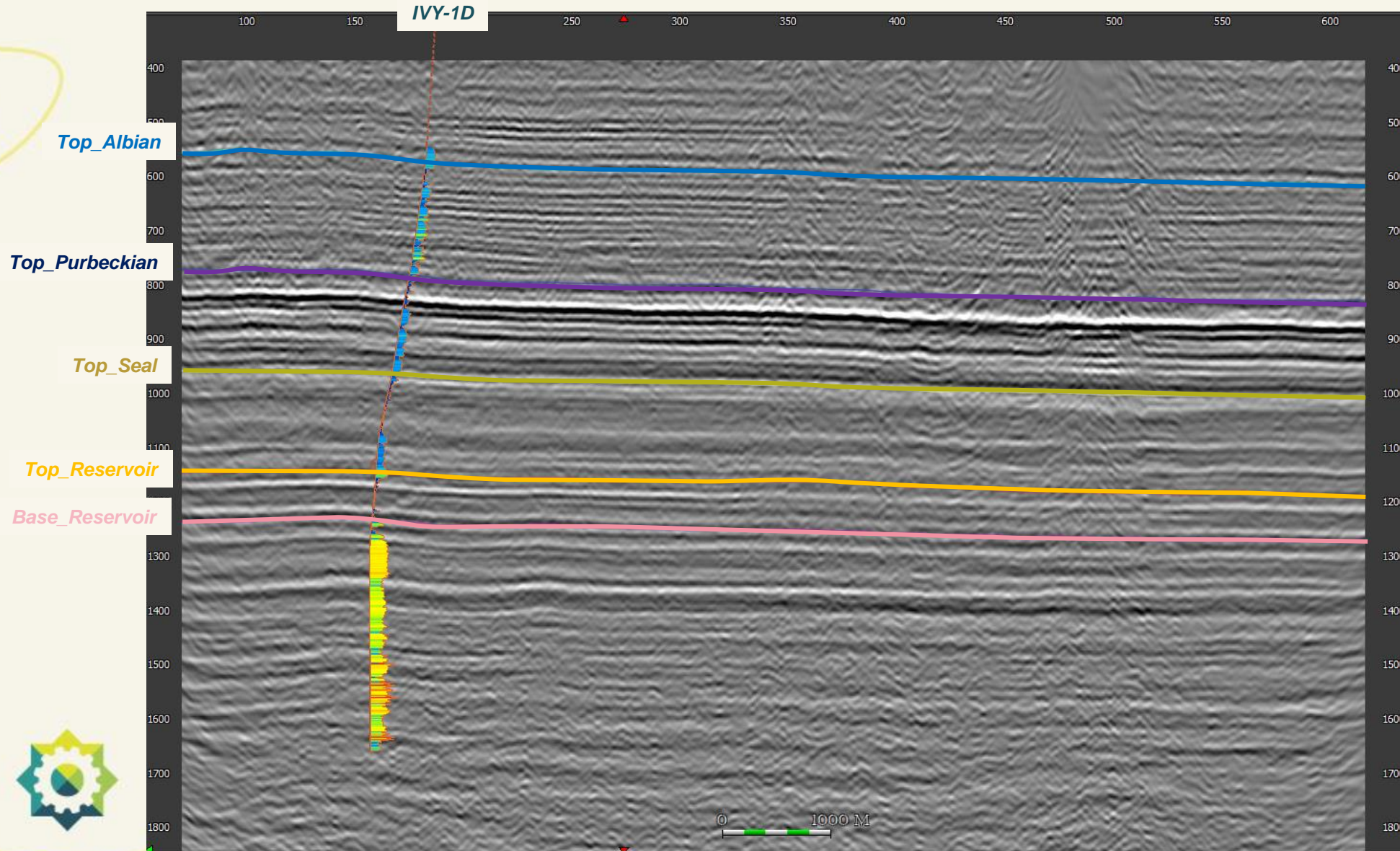
Inline 165



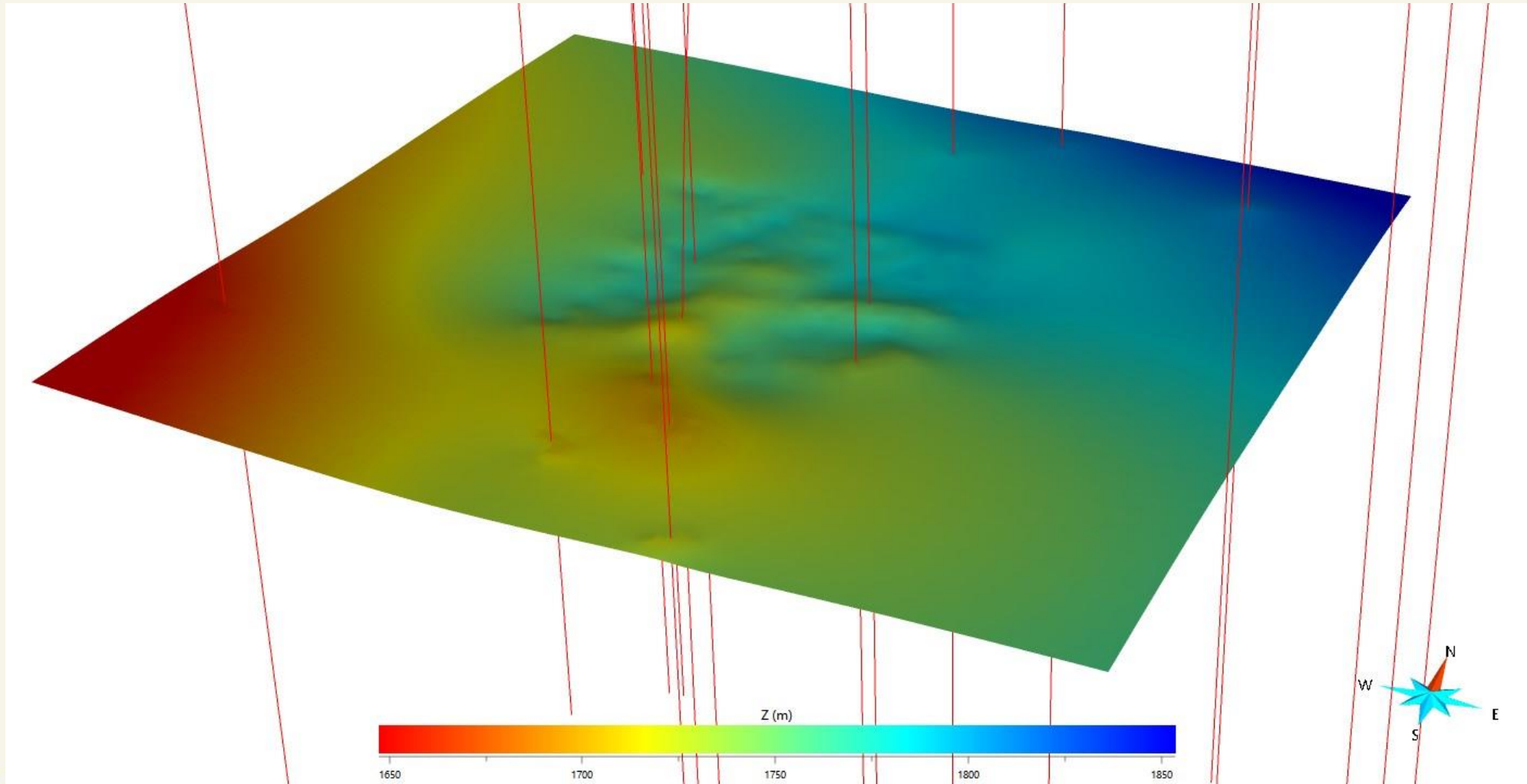
Le sous-sol de Grandpuits – Les résultats de l'interprétation sismique



Le sous-sol de Grandpuits – Les résultats de l'interprétation sismique



Horizon sismique Oolithe blanche (réservoir pour le stockage du CO₂)



Quelles données pour étudier les roches dans le sous-sol?

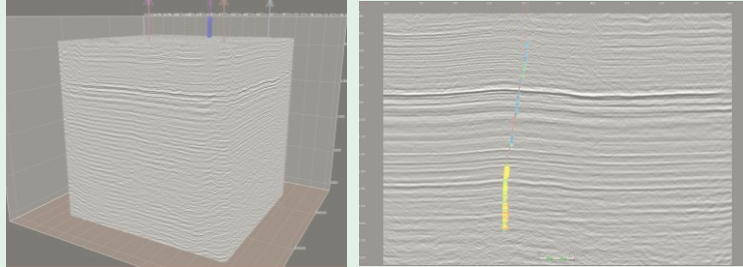
Les affleurements



Informations directes sur:

- La lithologie
- La composition des roches
- Les propriétés physiques des roches
- Les structures naturelles (failles, plis, etc)

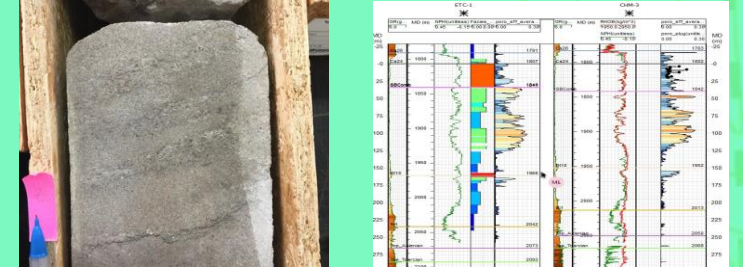
L'imagerie sismique



Informations directes sur:

- La géométrie 3D des couches géologiques (les surfaces géologiques)
- La géométrie 3D des grandes structures naturelles (failles, plis, etc)

Les puits des forages

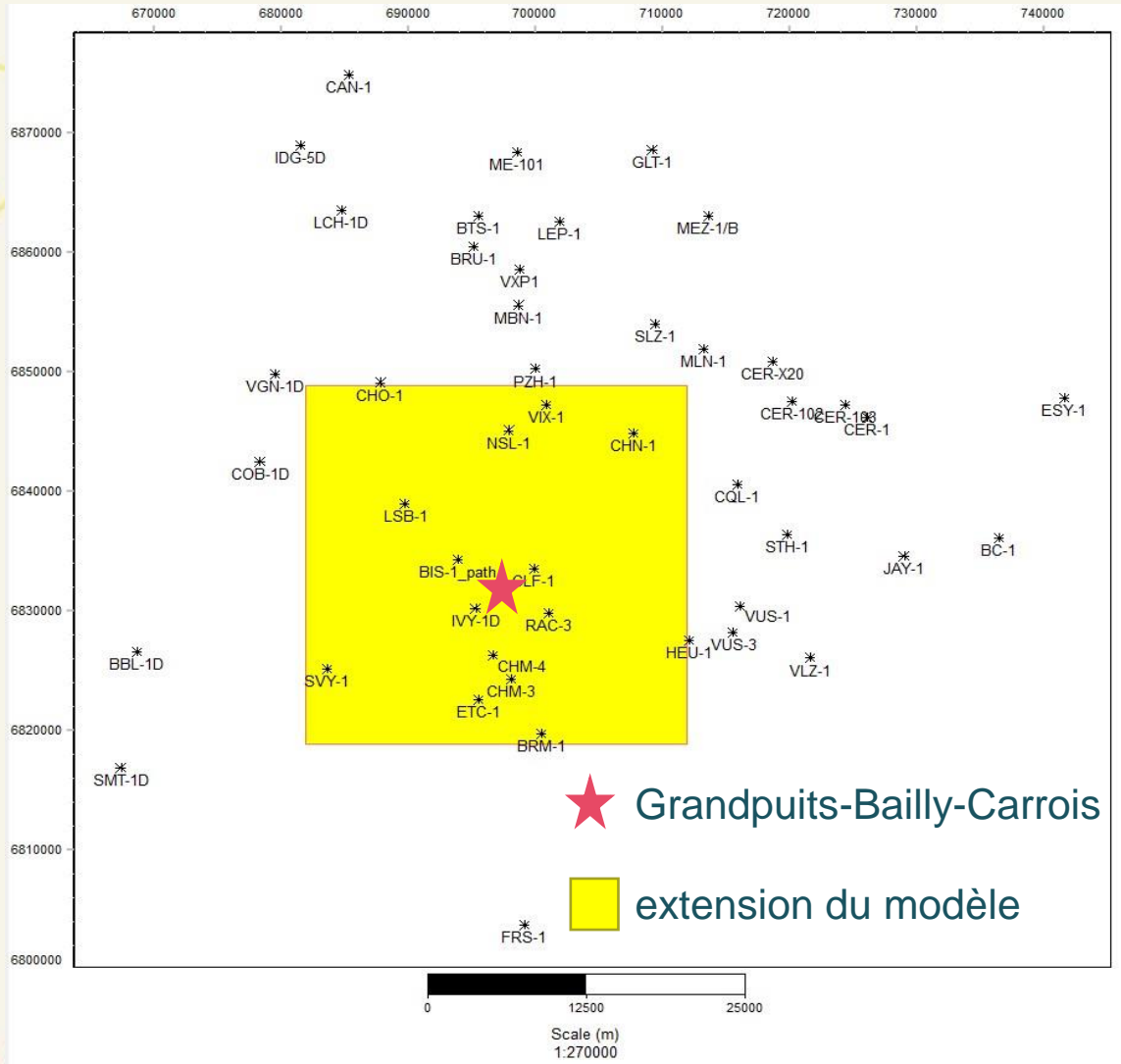


Informations directes et indirectes sur:

- La lithologie
- La composition des roches
- Les propriétés physiques des roches



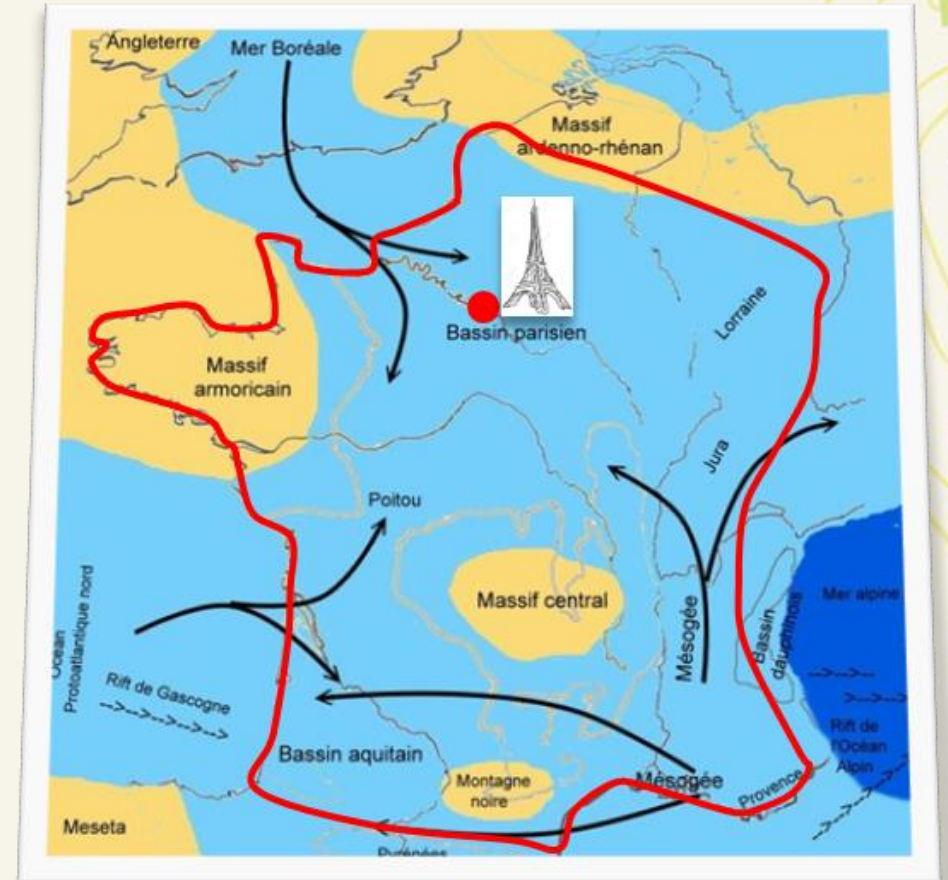
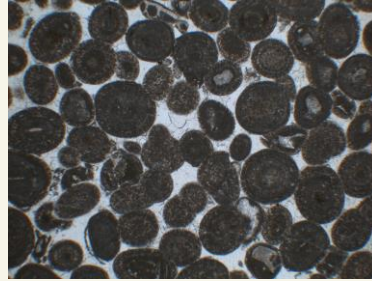
Données de puits autour de Grandpuits-Bailly-Carrois



- Données de **puits** pour **caractériser les roches**
- **grande profondeur** nécessaire pour disposer suffisamment d'informations
- Les puits donnent **deux informations** :
 - directe via les **carottes** et
 - indirecte via les **mesures physiques des roches**.



Le dépôt des roches réservoirs



Réservoir jurassique avec ooides
formé il y a **168 millions d'années**

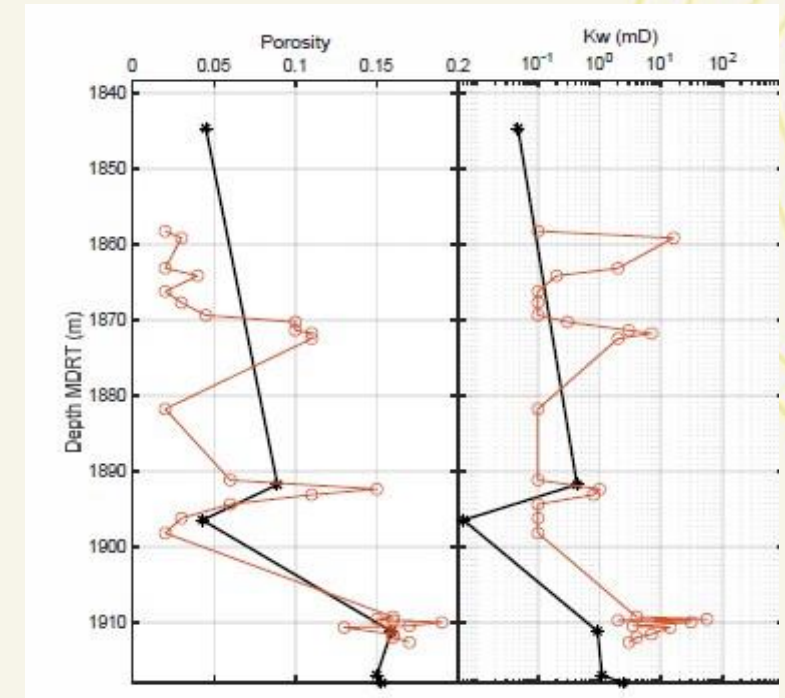
Équivalent de l'environnement aux Bahamas aujourd'hui

1800 m sous la surface aujourd'hui

Sa **porosité** et sa **perméabilité élevées** en font un excellent réservoir



Analyse des carottes au laboratoire

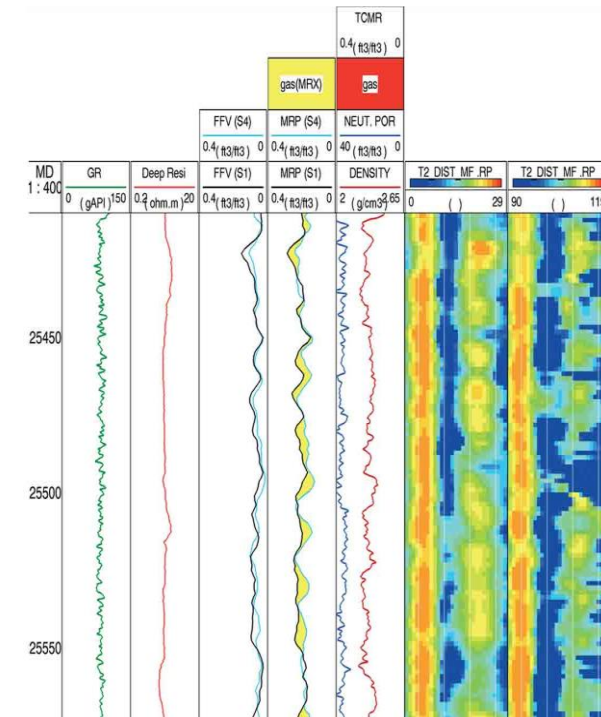
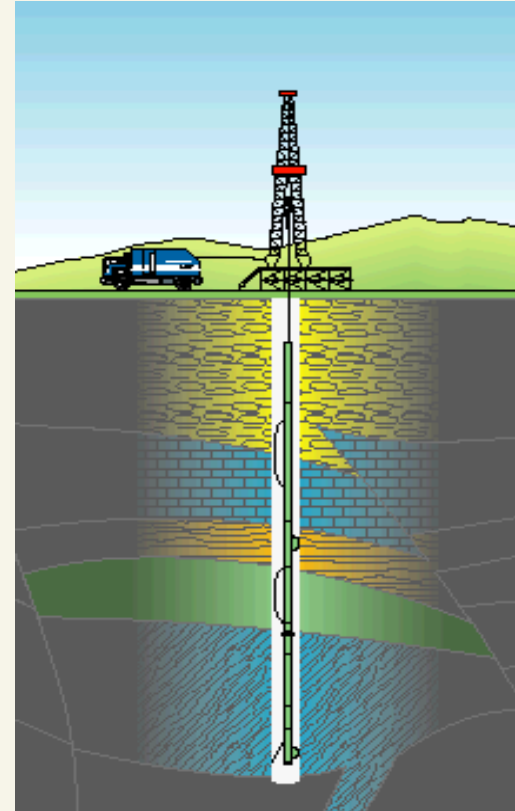


Mesure directe de porosité et perméabilité au laboratoires d'IFPEN

Exemple de mesures de porosité et de perméabilité sur une carotte du puits Vuslaines-1



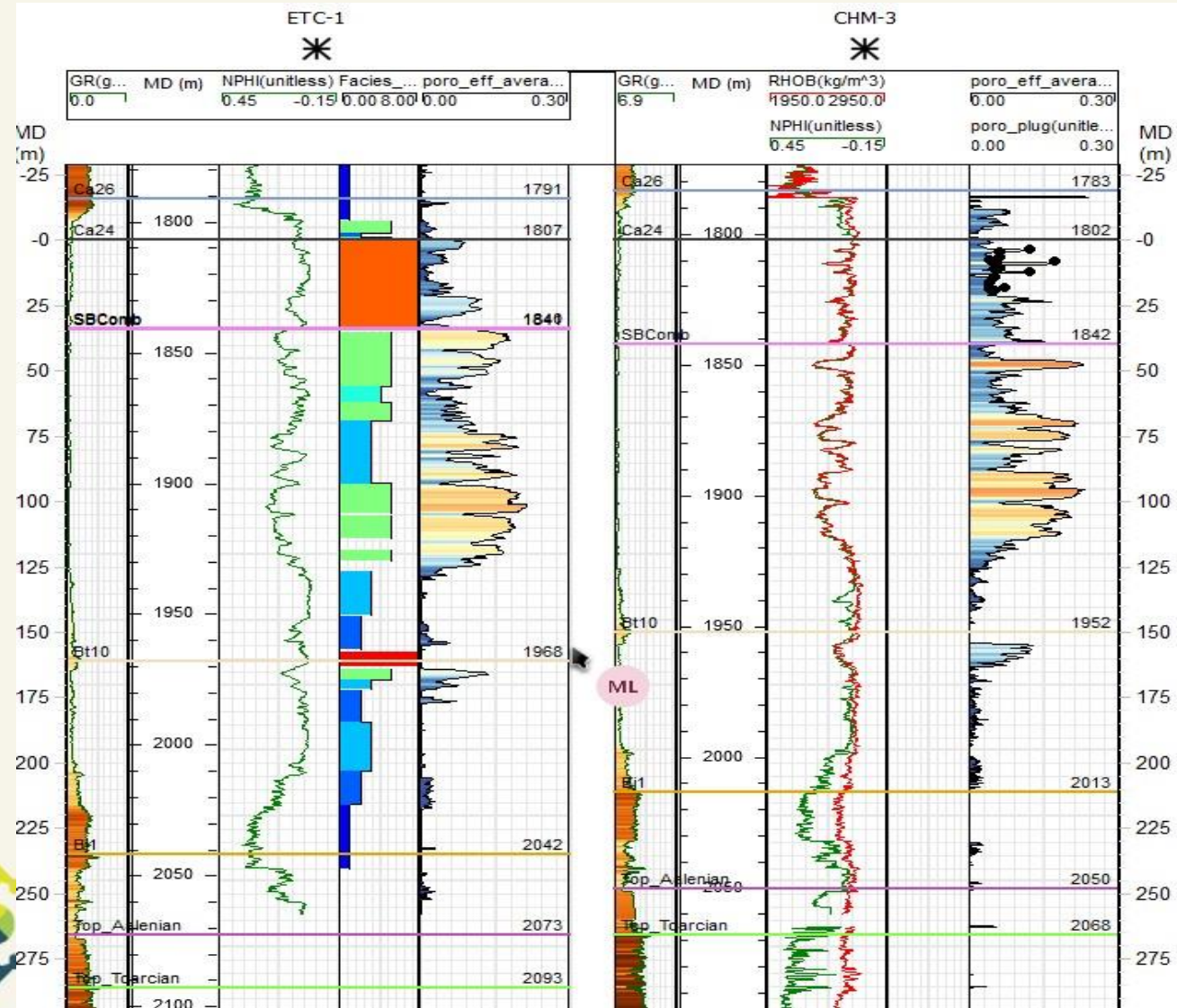
Mesures physiques pour caractériser la roche



Mesure des **paramètres physiques** de la roche à l'aide d'**outils descendus dans le trou de forage**
L'interprétation des mesures physiques permet de **caractériser la roche**

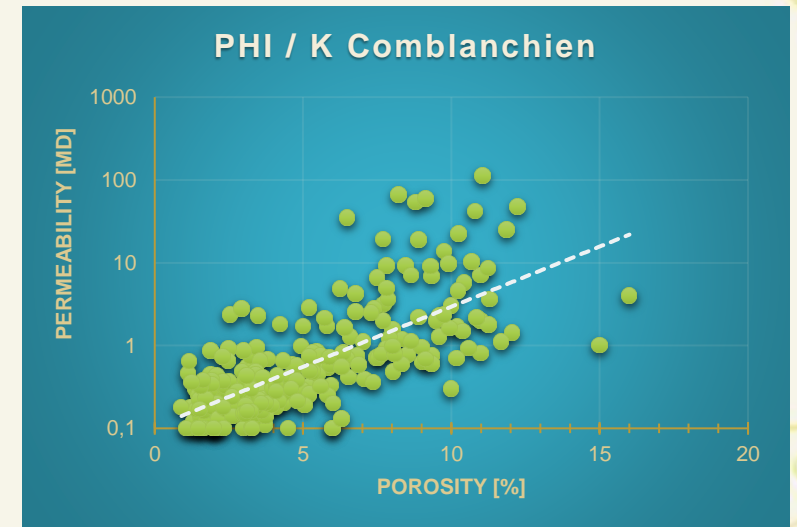


Interprétation des diagraphies pétrophysiques



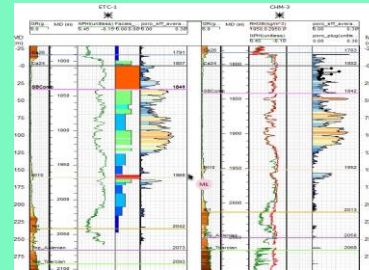
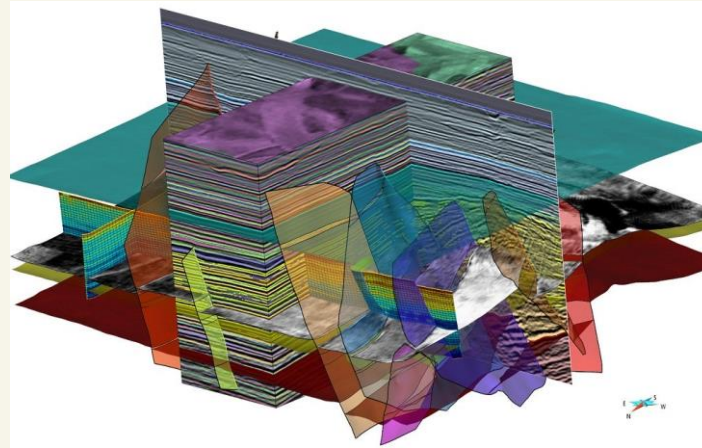
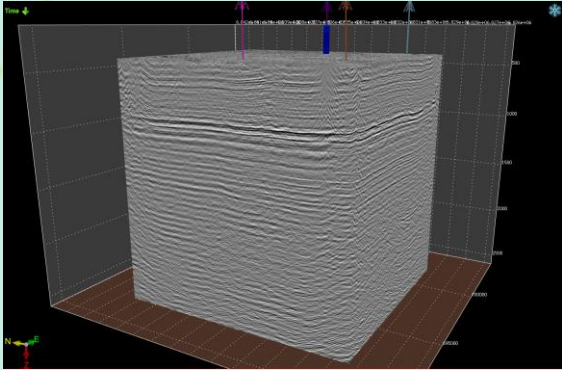
Principales utilisations des diagraphies:

- **Corrélation** stratigraphique
- Calcul des propriétés essentielles du réservoir, notamment la **porosité** et la **perméabilité**

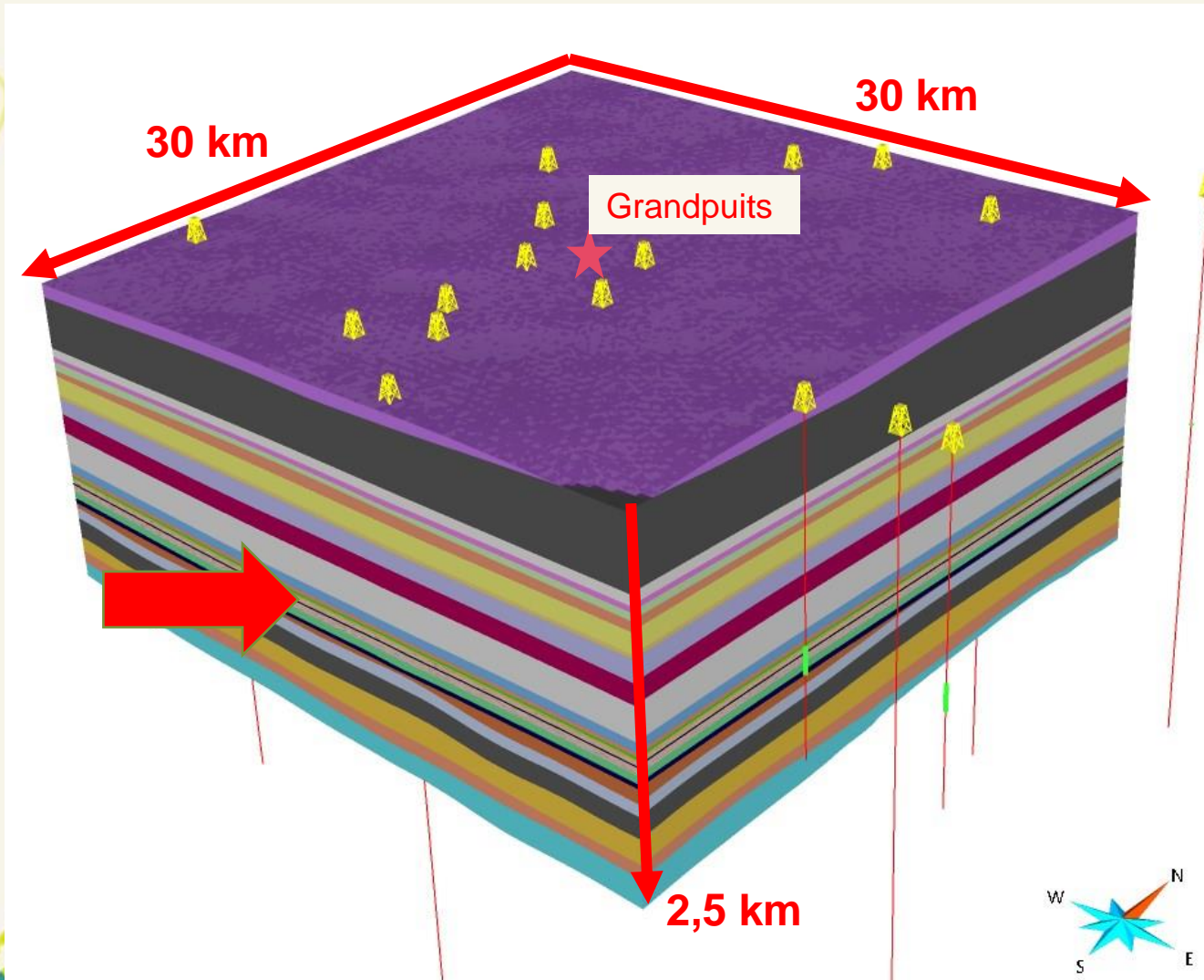


Méthodologie pour modéliser le sous-sol

Modèle du sous-sol

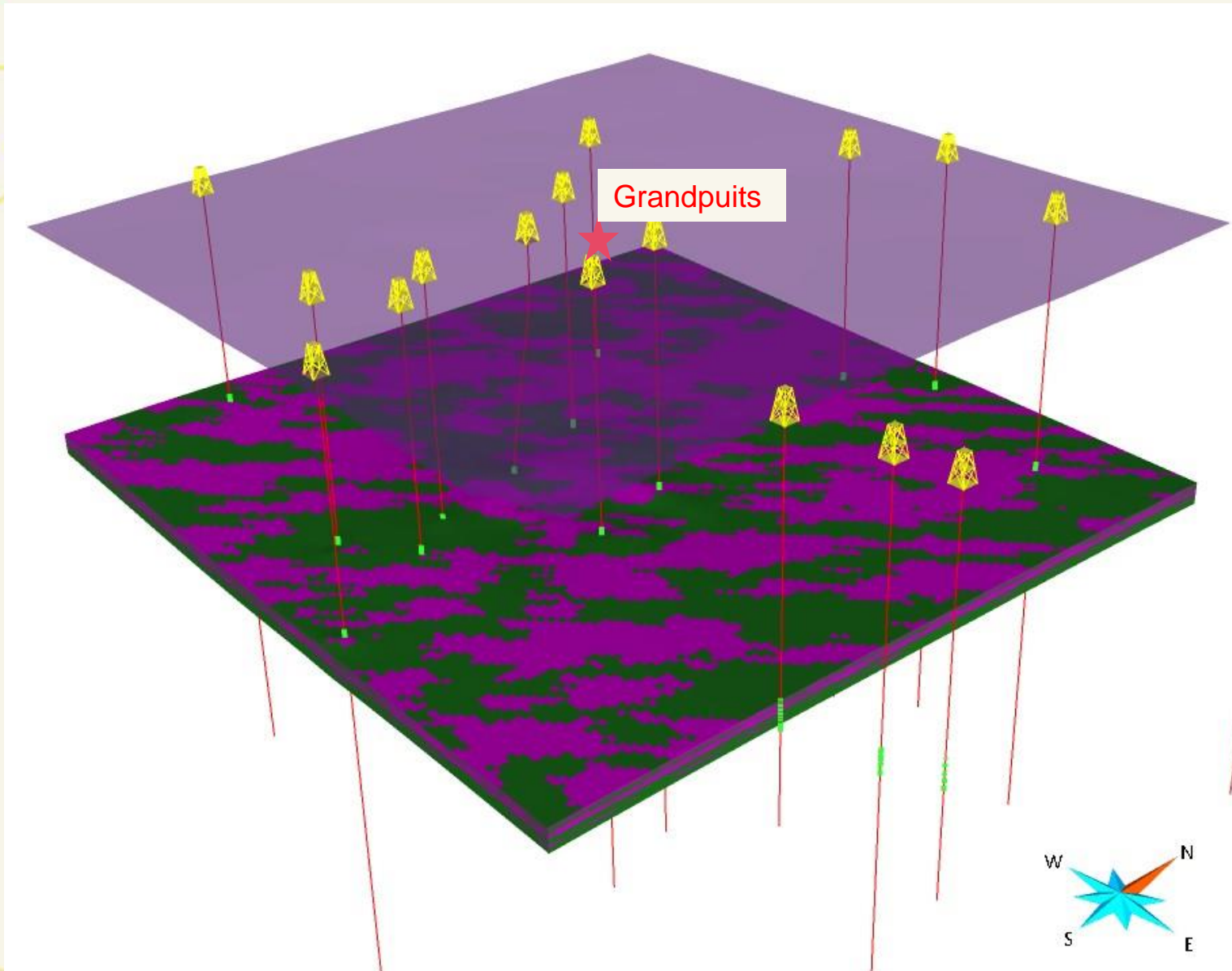


Construction du modèle du sous-sol



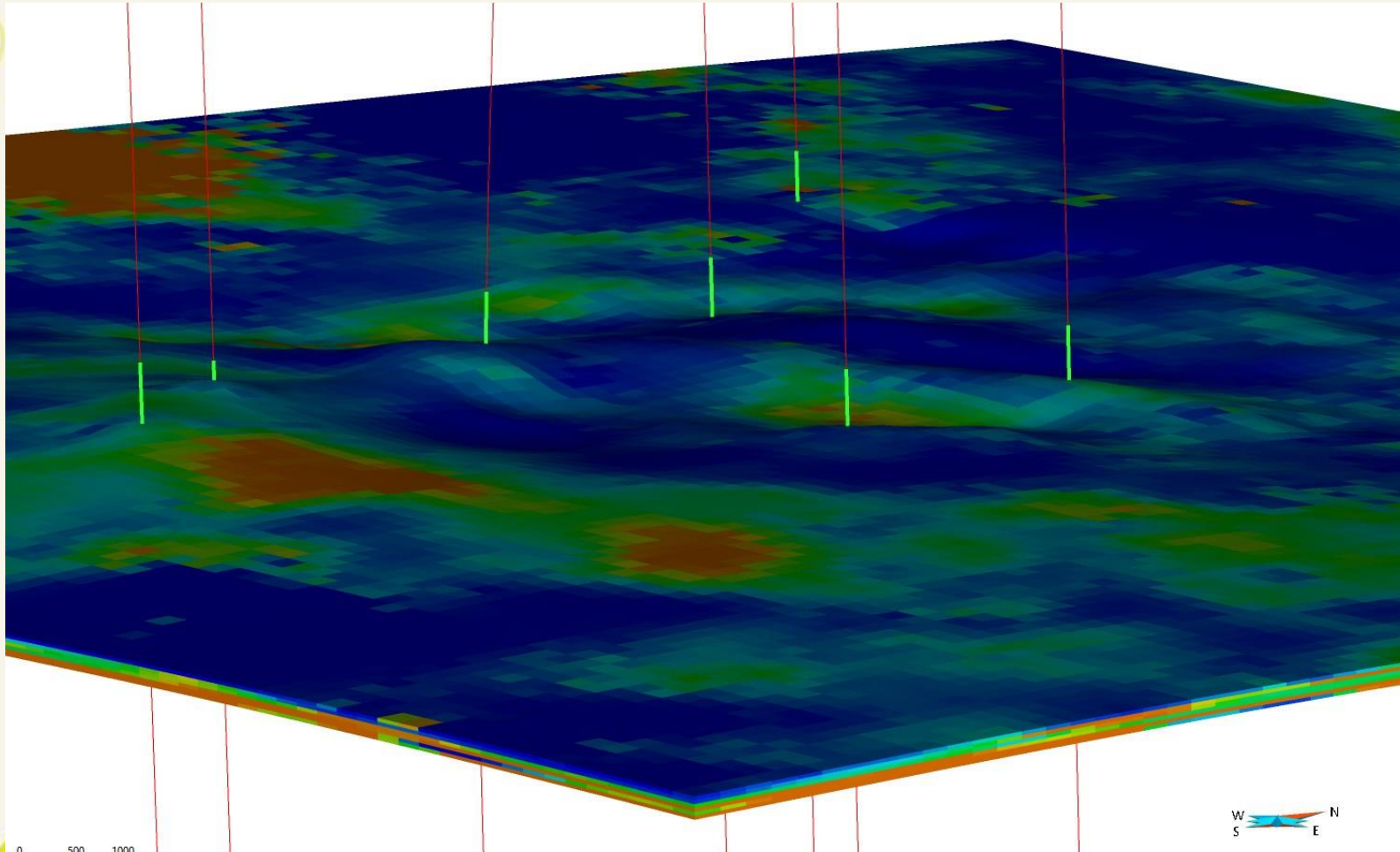
- à partir des **informations** issues de la **sismique** et des **diagraphies**
- 24 couches géologiques dans le modèle
- La cible de l'injection est l'**Oolithe Blanche**
- localisation à **1600 - 1800 m sous la surface**
- la **couche sellante** est constituée par les **marnes de Massigny**
- Très bonnes propriétés d'étanchéité grâce à leur épaisseur et à leurs **faibles porosités et perméabilités**

Résultats préliminaires - Lithologie



- Discrétisation de deux lithologies le réservoir
- **Porosité élevée** et **porosité faible**
- Caractérisation avec les données des carottes et des diagraphies de puits

Résultats préliminaires - Porosité



Porosité effective

10%

30%

- Exemple de **modélisation de la porosité**
- Informations provenant de données de puits (**carottes, diagraphiques**) modélisées en 3D à l'aide de **méthodes mathématiques**

La connaissance du sous-sol pour le stockage géologique du CO₂

Groupe de réflexion « Adaptations & Territoire » - Deuxième réunion

Alina-Berenice Christ – IFP Energies nouvelles (alina-berenice.christ@ifpen.fr)

Luca Mattioni – IFP Energies nouvelles (luca.mattioni@ifpen.fr)

Grandpuits-Bailly-Carrois, 26/09/2023



The PilotSTRATEGY project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 101022664