



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Geosciences pour une Terre durable

brgm



ACQUISITION SISMIQUE ET CONSTRUCTION D'UN MODÈLE GÉOLOGIQUE 3D POUR PRÉCISER L'IMPLANTATION DE FORAGES DE RECONNAISSANCE HYDROGÉOLOGIQUE DANS LES CALCAIRES DU JURASSIQUE DU GRAND BELFORT

Réunion de clôture

M. Delaunay

19 décembre 2024



Déroulé

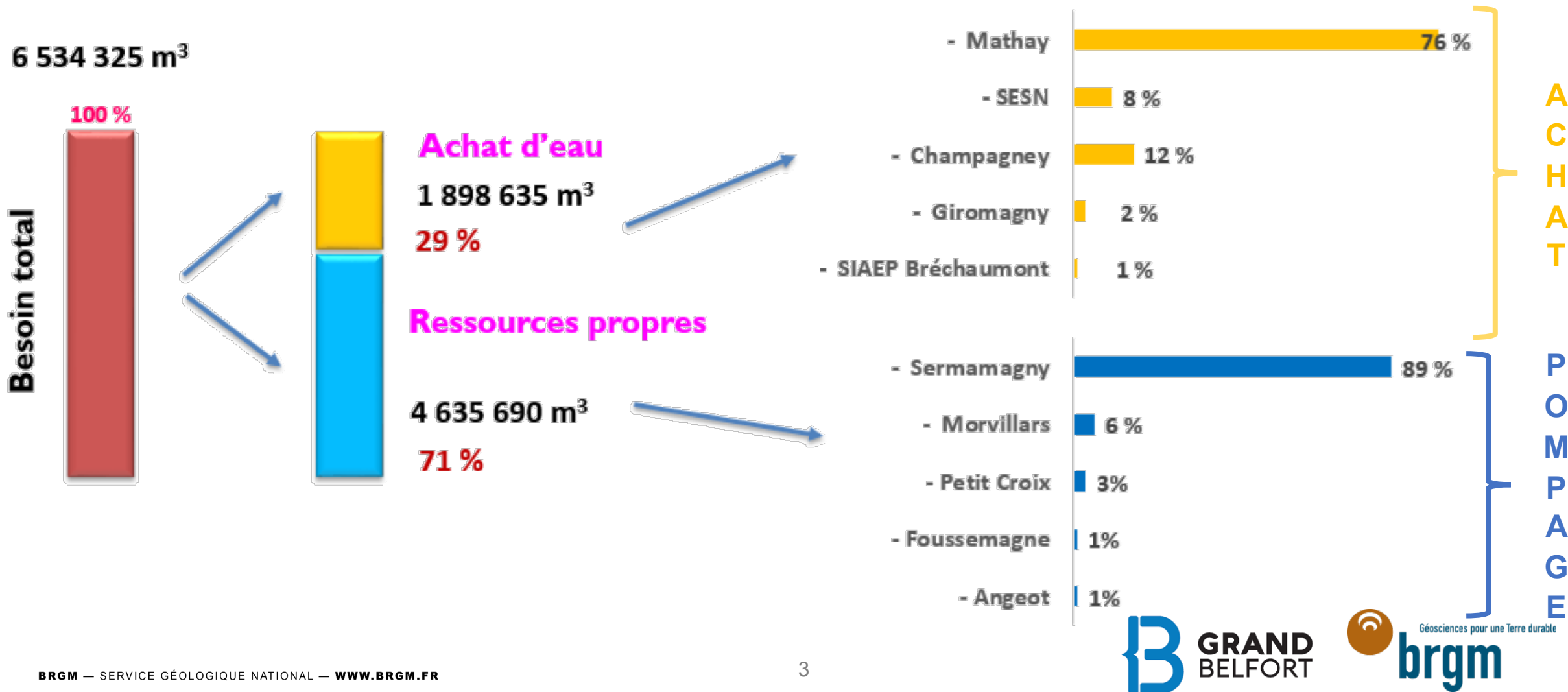
1. Introduction
2. Méthodologie
3. Acquisition sismique
4. Modélisation 3D
5. Recommandations pour l'implantation d'un forage de reconnaissance
6. Conclusions



Fig. 1. Fontaine de la Charme à Dorans (Idoux, 2022).

Les ressources en eau exploitées

La consommation en eau du Grand Belfort s'élève entre 6 à 7 millions de m³ par an.



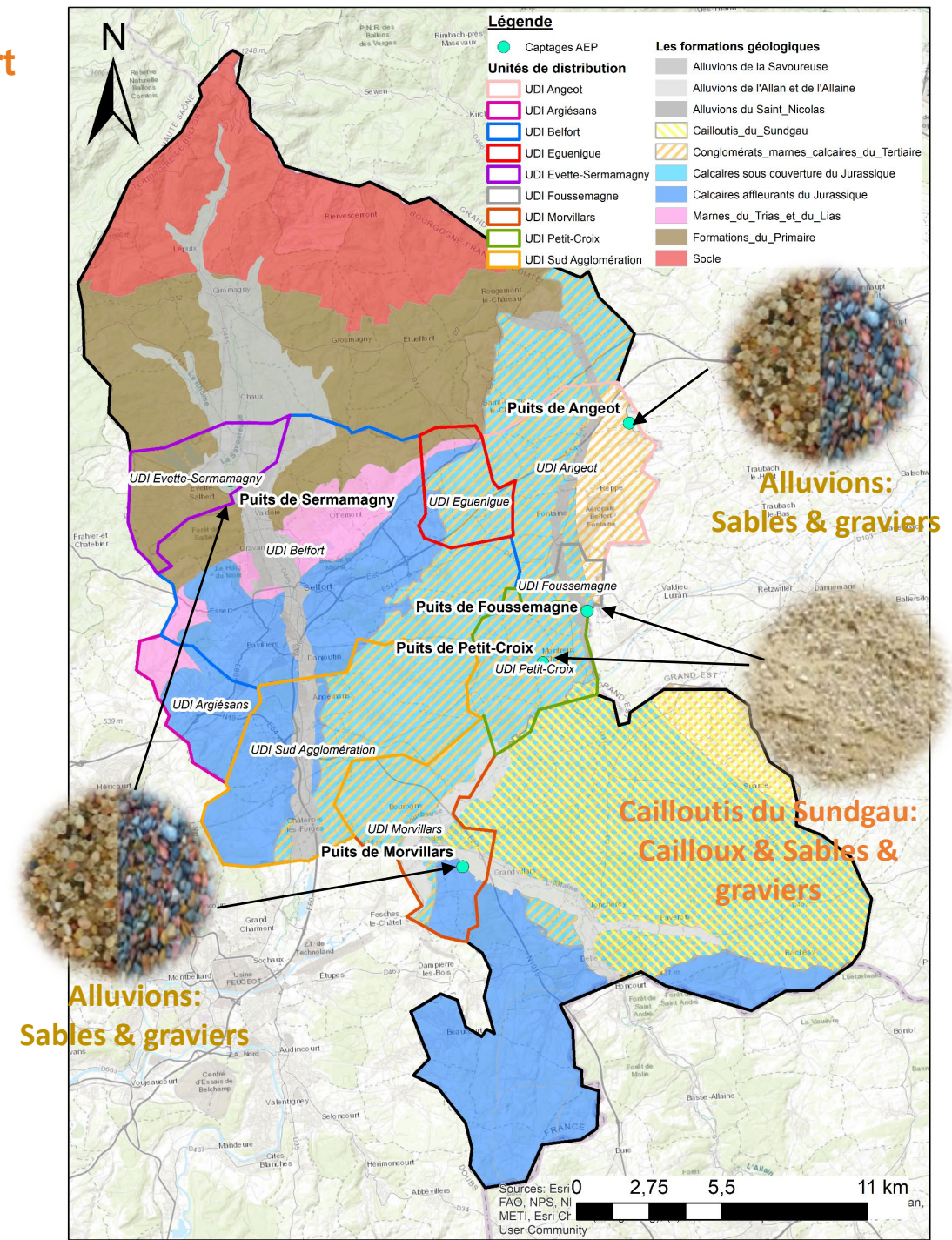
Les ressources en eaux actuellement exploitées par le Grand Belfort

Les ressources en eau exploitées

Le Grand Belfort exploite 4 aquifères (= réservoir d'eau où circule la nappe) différents.

- Les puits de Sermamagny captent les alluvions de la Savoureuse (63% AEP Grand Belfort)
- Le puits de Morvillars capte la nappe des alluvions de l'Allaine (4% AEP Grand Belfort);
- Les puits de Foussemagne et de Petit-Croix captent les cailloutis du Sundgau (3% AEP Grand Belfort)
- Le puits d'Angeot capte les alluvions du Saint-Nicolas (0,7% AEP Grand Belfort)

La principale ressource en eau du Grand Belfort provient de l'exploitation des alluvions de la Savoureuse à Sermamagny



Les ressources en eaux actuellement exploitées par le Grand Belfort

Les ressources en eau exploitées

+ de 90 % de l'eau exploitée par le Grand Belfort proviennent des alluvions.

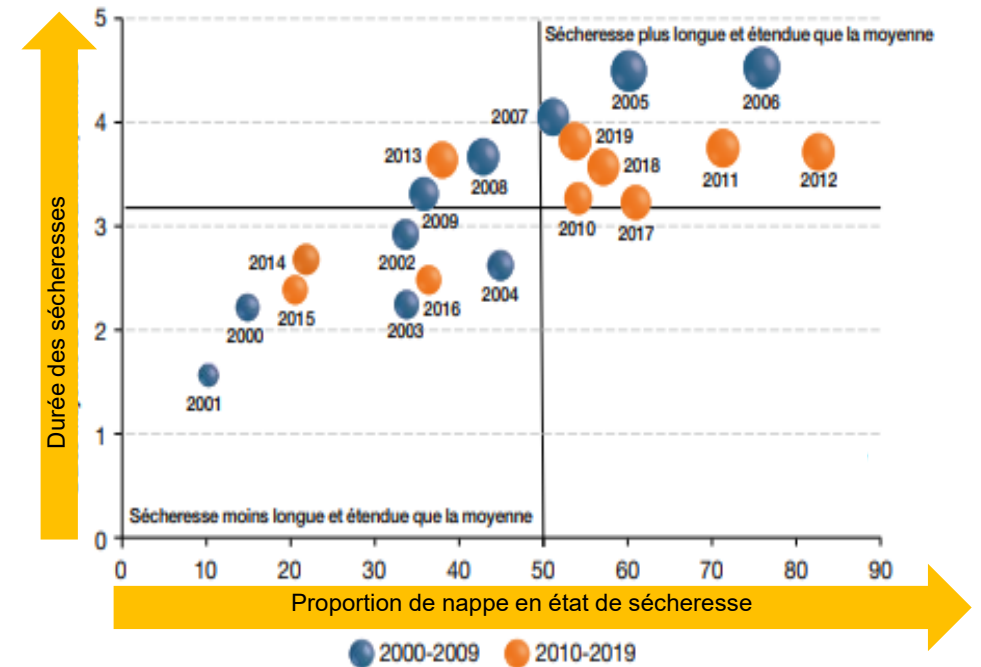
Les nappes alluvionnaires sont des ressources en eau fragiles, en lien étroit avec les cours d'eau qu'elles accompagnent:

- Ressource fortement sollicitée

- des tensions possibles sur la ressource

(Remarque: l'arrêté préfectoral du 31/07/2007 concernant le volume prélevable sur la zone de captage de Sermamagny fixe à 20 000 m³/j à 5 000 m³/j si débit de la Savoureuse <70 L/s)

La tension sur les nappes alluvionnaires est accrue conséquence des sécheresses de plus en plus longues et fréquentes notamment dans un contexte de changement climatique.



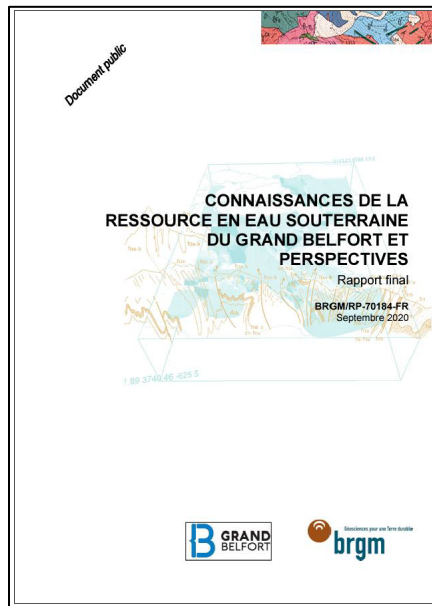
INTRODUCTION

Contexte de l'étude

Deux objectifs principaux:

1. Imager par sismique réflexion la géométrie et la structure des formations géologiques susceptibles d'être exploitées pour la production d'eau potable
2. Construire un modèle géologique 3D dans le but d'intégrer l'information existante, d'améliorer la compréhension du milieu pour, in fine, proposer des sites pour l'implantation de forages de reconnaissance hydrogéologique

Capitalisation des études antérieures



RP-70184-FR (2020)



RP-71882-FR (2022)

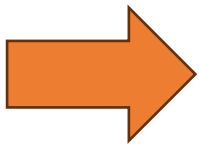


RP-73653-FR (2024)

INTRODUCTION

État des connaissances initiales

- À la suite de l'étude des connaissances de la ressource en eau souterraine du Grand Belfort et perspectives (Doney *et al.*, 2020), les **calcaires du jurassique affleurants et sous couverture** ont été identifiés comme présentant un intérêt pour l'exploitation en eau potable
- Les calcaires jurassiques présentent des comportements très variables dans l'espace (non linéaires), **difficilement caractérisables**. → **Besoin d'une caractérisation géologique et hydrogéologique de ces calcaires**:
 - campagne géologique de terrain
 - les failles sont les principales zones de transfert d'eau vertical;
 - La structure géométrique globale des calcaires décrit une vaste synforme à fond plat.
 - Mesures de terrain caractérisant la ressource
 - le potentiel en eau, au droit des calcaires affleurants, serait plus important en rive droite de la Savoureuse;
 - l'hydrosystème est de type karstique. Il est vulnérable aux sécheresses et à d'éventuelles pollutions de surface.



Continuer les recherches au droit des calcaires sous couverture

Définition d'une zone d'intérêt hydrogéologique

Approfondissement de l'analyse structurale par prospection géophysique + modélisation 3D

INTRODUCTION

État des connaissances initiales

1. Continuer les recherches au droit des calcaires sous couverture
2. Définition d'une zone d'intérêt hydrogéologique

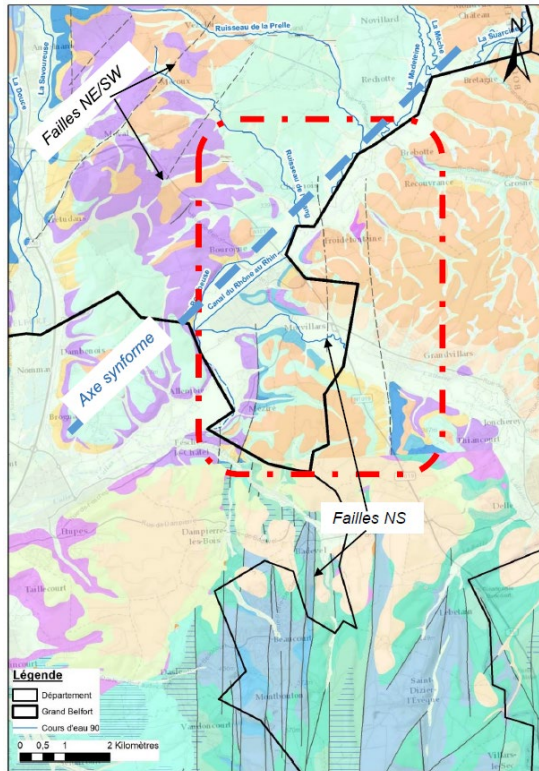


Fig. 2. Cible hydrogéologique (Doney et al., 2022).

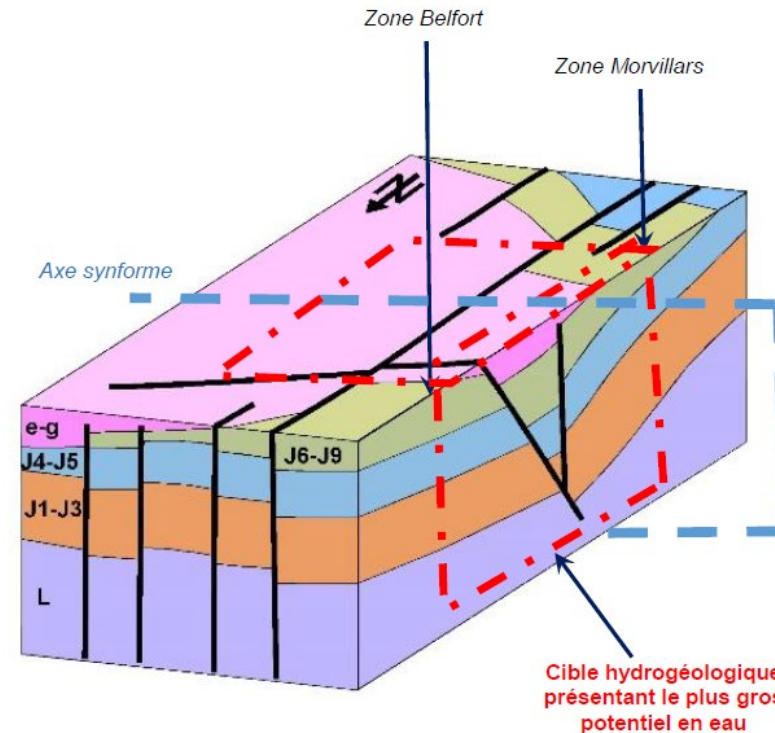
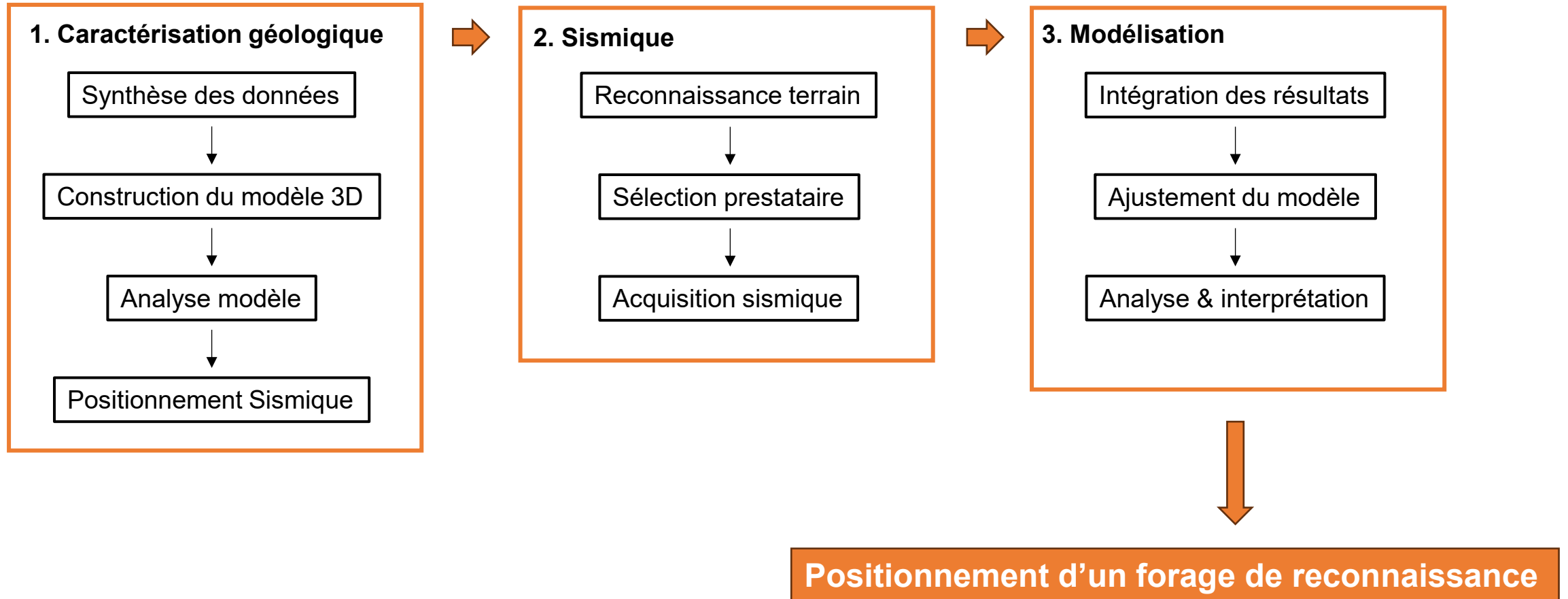


Fig. 3. Diagramme 3D de la cible Hydrogéologique (Doney et al., 2022).

3. Approfondissement de l'analyse structurale par prospection géophysique + modélisation 3D
- ### Programme de la présente étude

Phasage du projet



MÉTHODOLOGIE

Principe de la sismique réflexion

Méthode géophysique non invasive

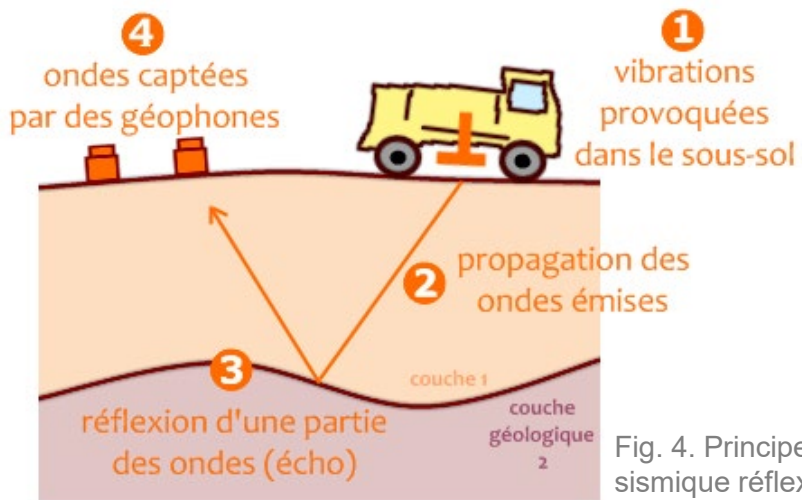


Fig. 4. Principe de la sismique réflexion



Fig. 5. Camion vibreur (mai 2023)

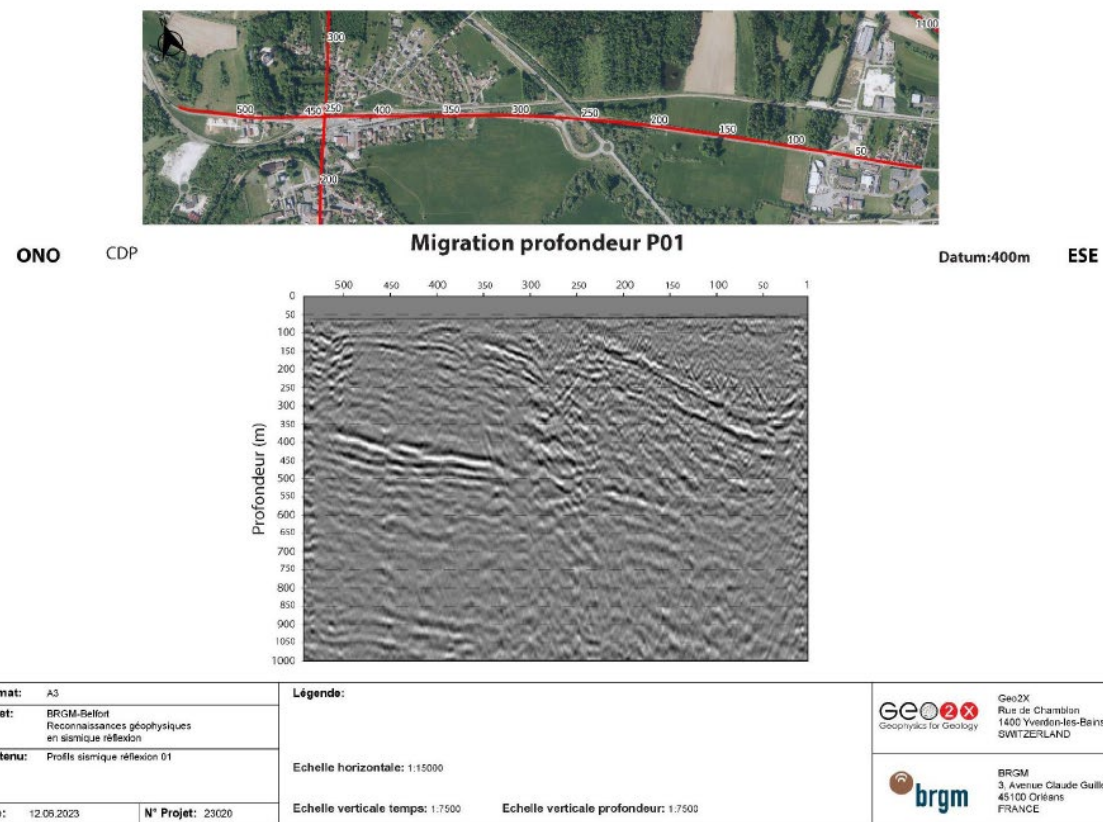


Figure 10: Section sismique P01_Migration Profondeur

Fig. 6. Résultat de la section sismique PS01.

ACQUISITION SISMIQUE

Interprétation des profils sismiques

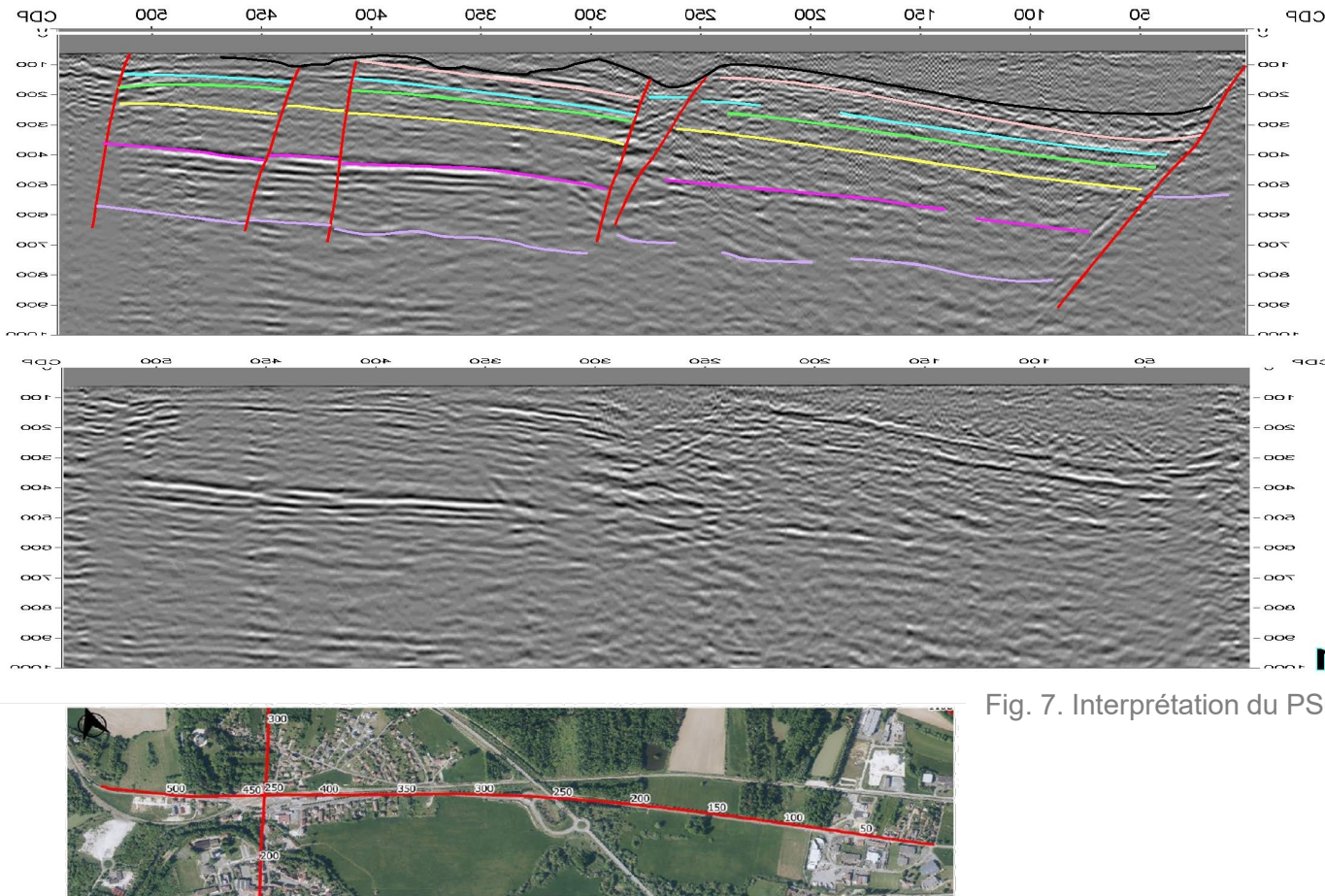


Fig. 7. Interprétation du PS01.

- **Réduction du bruit** : application de filtres et corrections pour minimiser le bruit et les interférences dans les données.
- **Inversion mathématique** : utilisation d'algorithmes mathématiques pour inverser les données observées et estimer les propriétés du sous-sol.
- **Analyse de vitesse** : estimation de la vitesse des ondes sismiques dans le sous-sol pour améliorer l'imagerie en profondeur.
- **Filtrage de fréquence** : suppression des fréquences indésirables ou amélioration des plages de fréquences spécifiques dans les données.
- **Conversion temps-distance** : conversion du temps de parcours des ondes sismiques en informations de profondeur pour l'interprétation de la structure souterraine.

ACQUISITION SISMIQUE

Actualisation du modèle en 3 dimensions prenant en compte l'interprétation des 4 profils sismiques

Ajustement des formations dans les 4 profils :

- profondeur,
- épaisseur,
- orientation.

Ajustement des failles déjà identifiées

+ ajout des nouvelles failles dans les 4 profils :

- orientation,
- pendage,
- rejet.

Ajout des nouvelles failles identifiées dans les 4 profils :

- orientation,
- pendage,
- rejet.

Mise en cohérence sur l'ensemble du volume 3D

- Mise en cohérence des 4 profils sismiques avec la carte géologique de surface
- Ajustement des contours de failles et formations

Fig. 8. Avant sismique

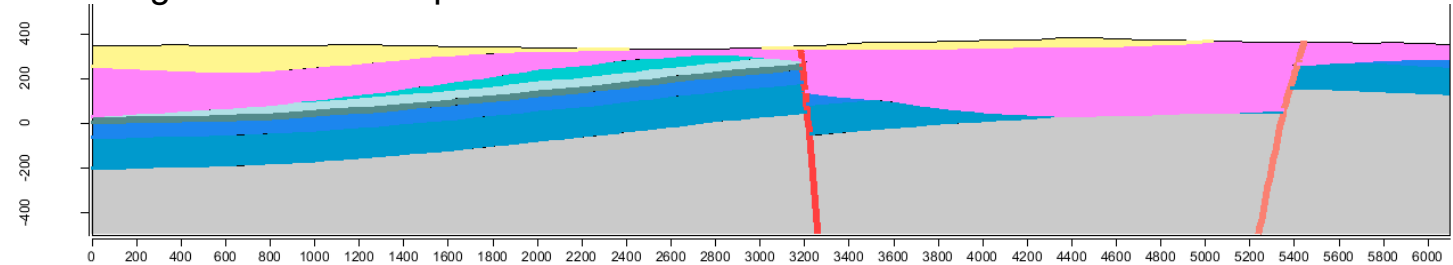


Fig. 9. Acquisition et interprétation des profils sismiques

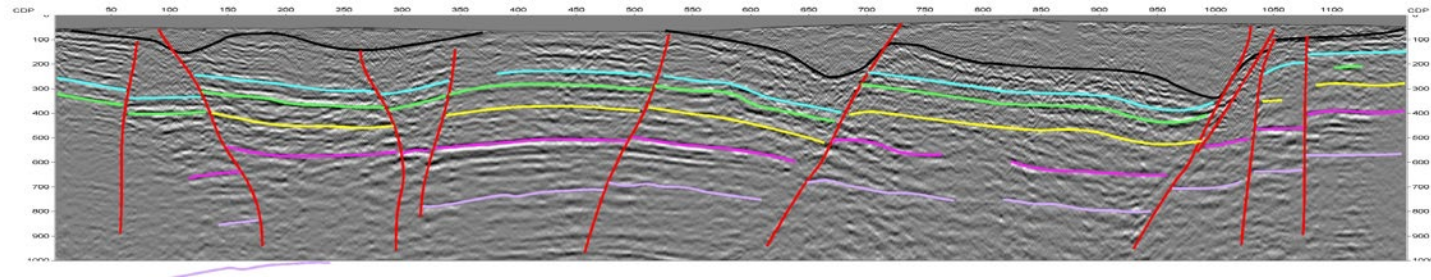
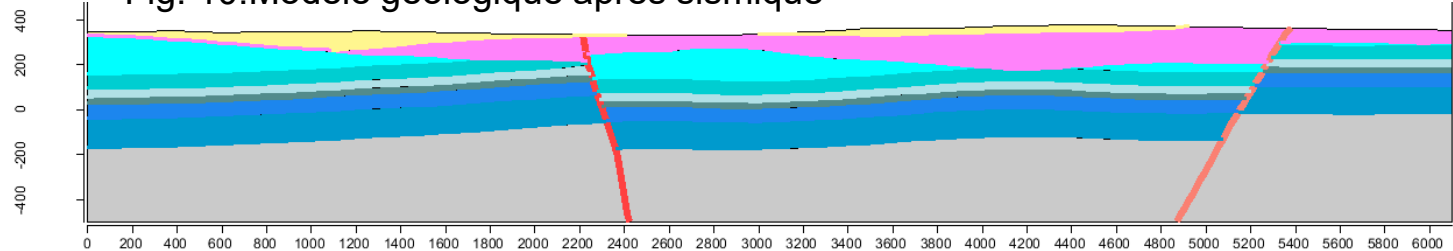
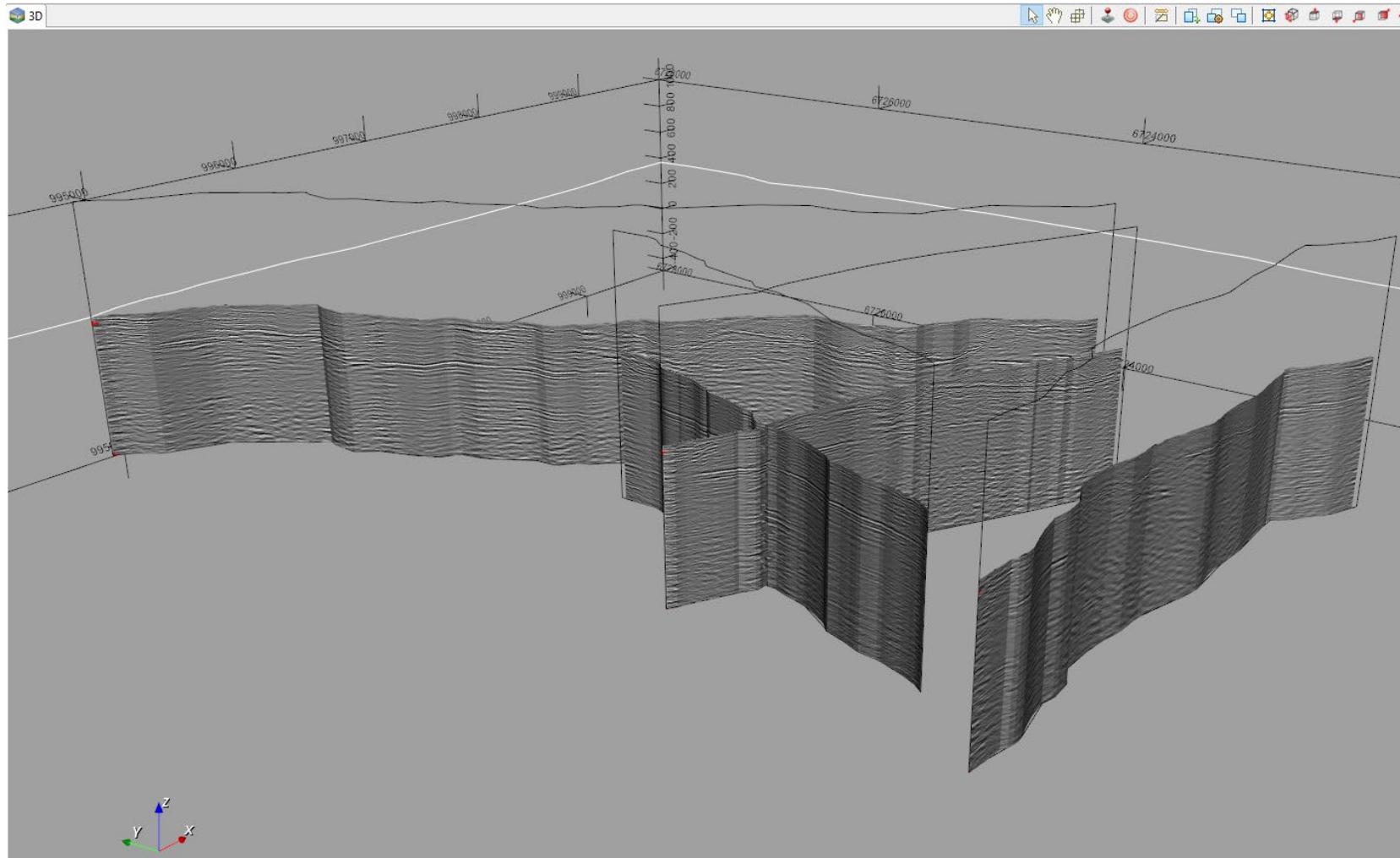


Fig. 10. Modèle géologique après sismique



Intégration des 4 profils sismiques dans le GeoModeller



Calage des 4 profils sismiques acquis :

- en surface (géoréférencement)
- en profondeur

Fig. 11. Profils sismiques chargés dans GDM

MODÉLISATION 3D

Ajustement des formations géologiques

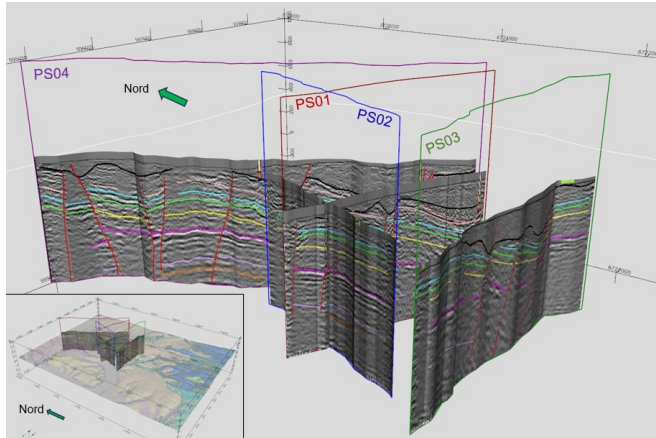


Fig. 12. Modèle GDM

Description des terrains (carte géologique de Delle)		codes lithologiques et épaisseurs	Colonnes lithologique simplifiée	Etages
Formations				
Stratigraphie				
Calcaires postérieurs	Postérieurs			
Cal. et marnes à Virgules	Virgules	J6b	30-35 m	Kimmeridgien
Calcaires à Corbis		J6a	25-30 m	
Cal. à Paléocrines supérieures	Paléocrines	J5c6a	8-10 m	
Marnes à Paléocrines		J5c6a	40-45 m	
Cal. à Paléocrines inférieures			20-30 m	Rauracien
Calcaires intermédiaires		J5bP	60-80 m	
Calcaires à Carifium	Carifium	J5	0-15 m	Oxfordien
Calcaires à Tabularides		J4	25 m	
Marnes à Assises	Assises	J3	35-70 m	Callovien
Cal. à Assises et Nasses	Nasses	J2	10 m	
Cal. à Assises et Nasses		J1	30 m	Bathonien Bajocien
Cal. à Assises et Nasses			7 m	
Cal. à Assises et Nasses			30-40 m	Aalénien
Cal. à Assises et Nasses			10 m	
Calcaires à Polypiers	Polypiers		60-80 m	
Calcaires à Entroques	Entroques		25-30 m	
Marnes et grès aaléniens	Aaléniens			

Fig. 13. Log géologique

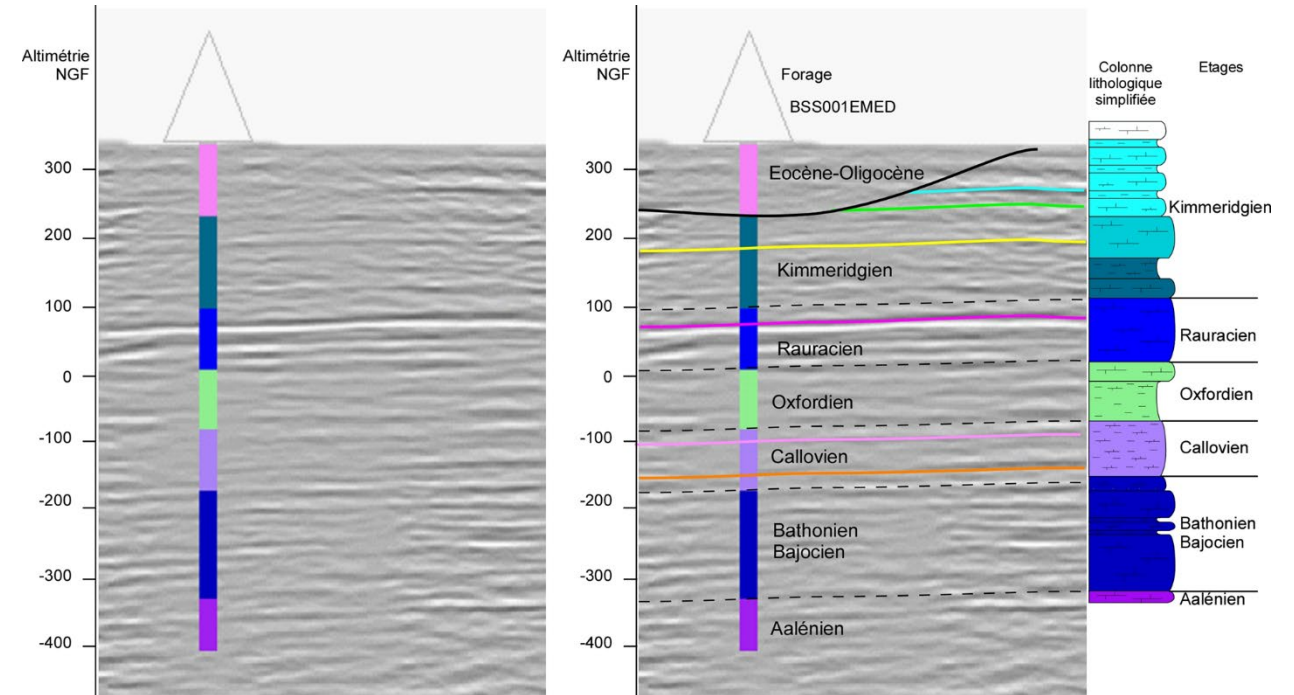


Fig. 14. Ajustement des formations géologiques

MODÉLISATION 3D

Ajustement des failles

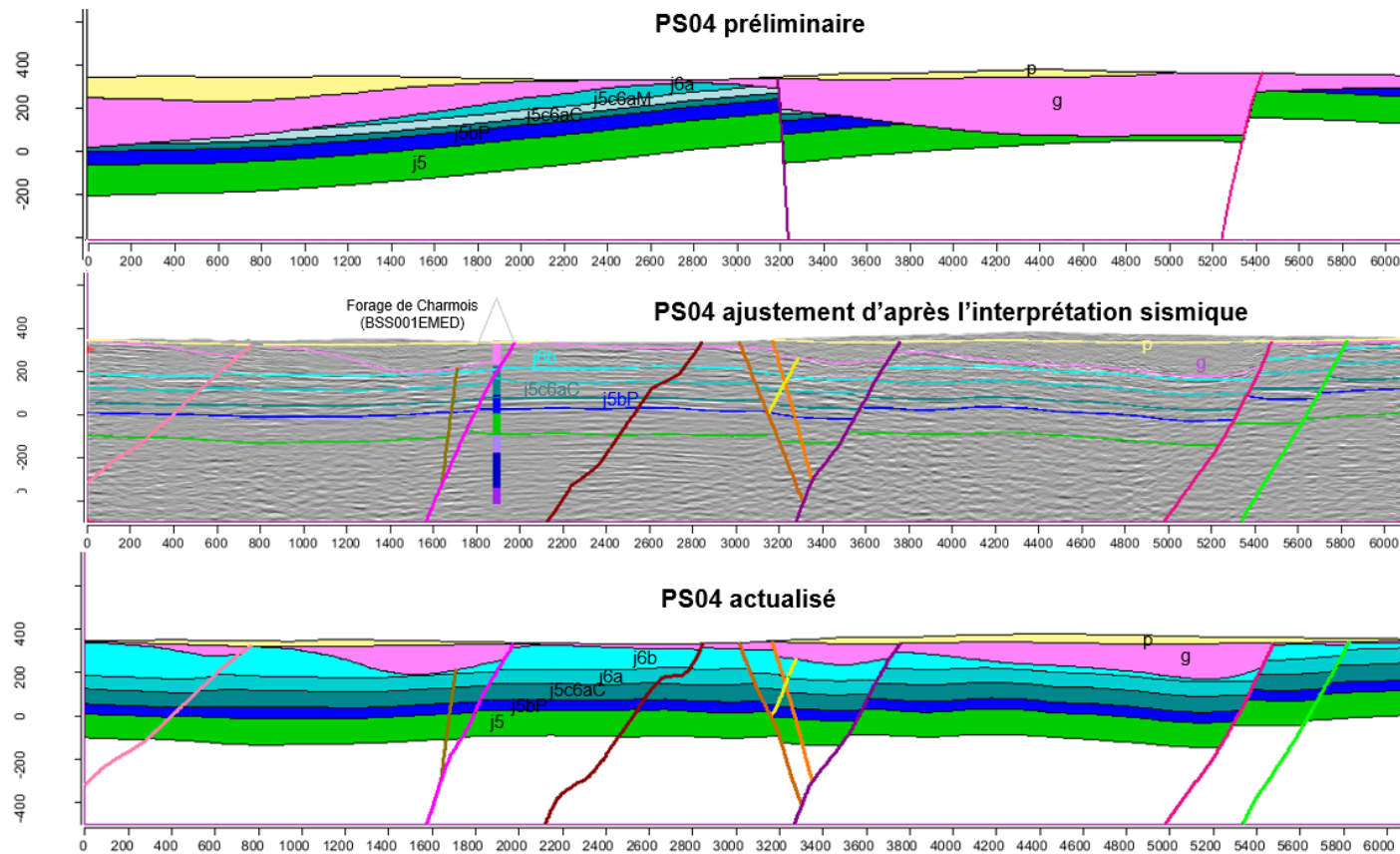


Fig. 15. Ajustement des failles

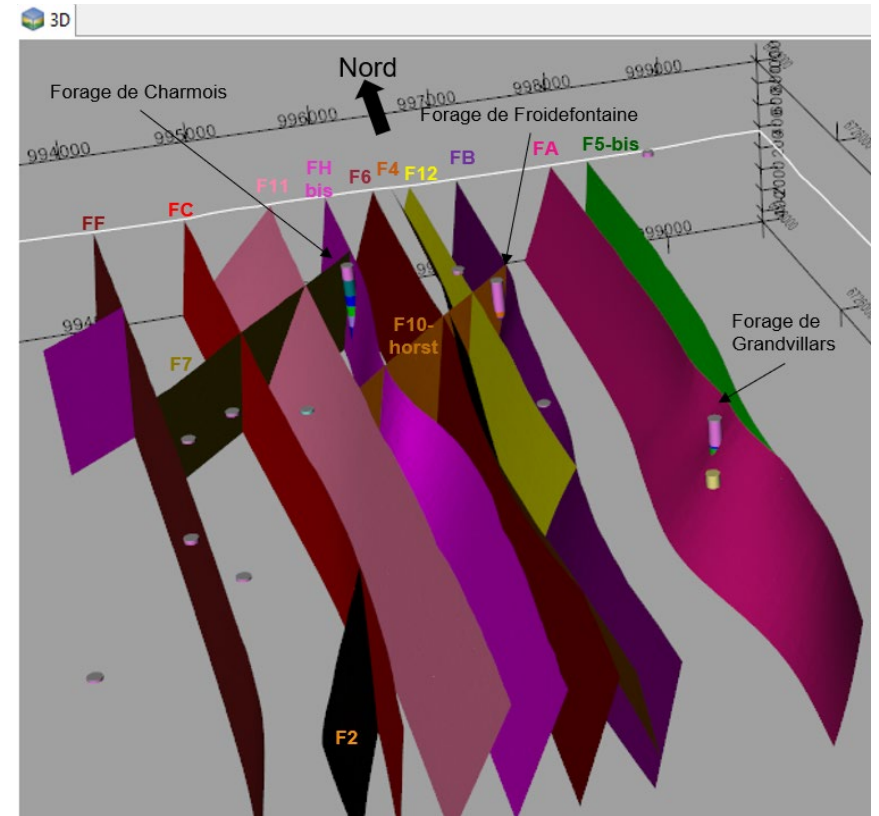


Fig. 16. Résultats

MODÉLISATION 3D

Ajustement des failles

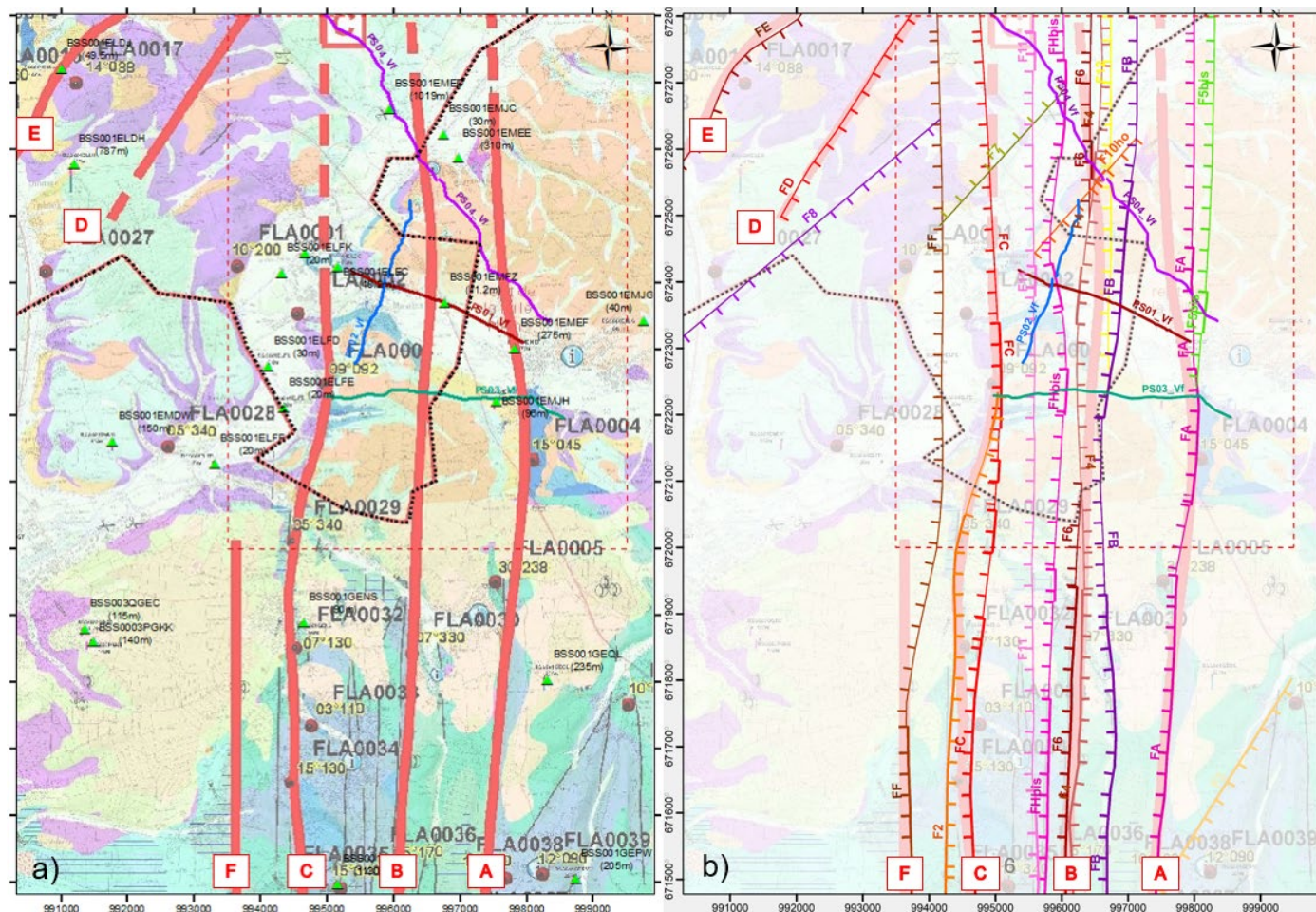
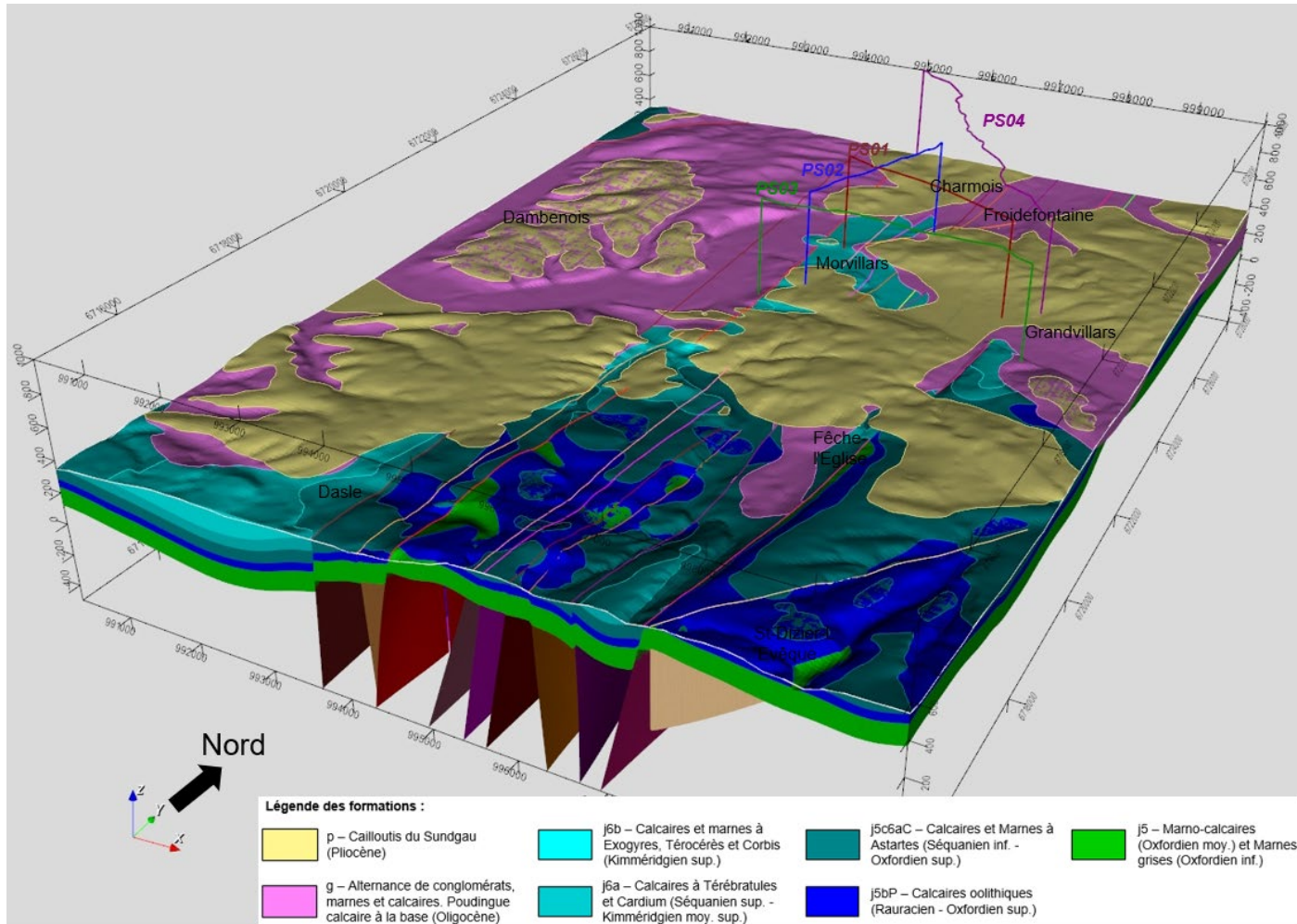


Figure 17. Carte de comparaison entre a) le tracé des failles proposé lors de l'étude géologique de première phase du projet (Doney et Lacquement, 2022) et b) le résultat du modèle géologique 3D consolidé par la sismique du Grand Belfort (logiciel BRGM GeoModeller).

MODÉLISATION 3D

Modèle final



- ➔ Analyse géostatistique et interpolation de variable
- ➔ Interrogation du modèle
- ➔ Cartes de profondeur
- ➔ Cartes d'épaisseur
- ➔ Contrôle de cohérence des données

Figure 18. Modèle géologique 3D

Méthodologie

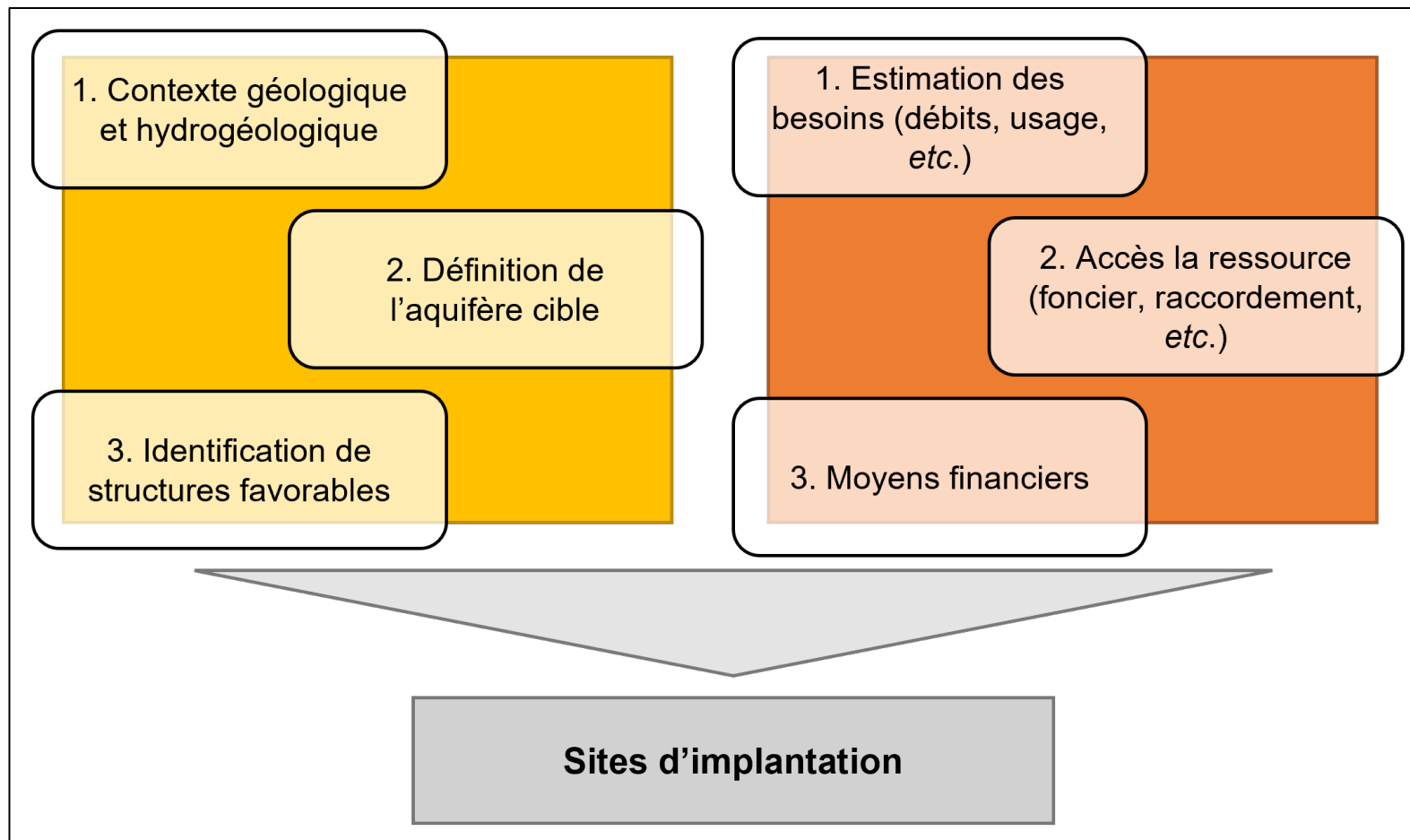
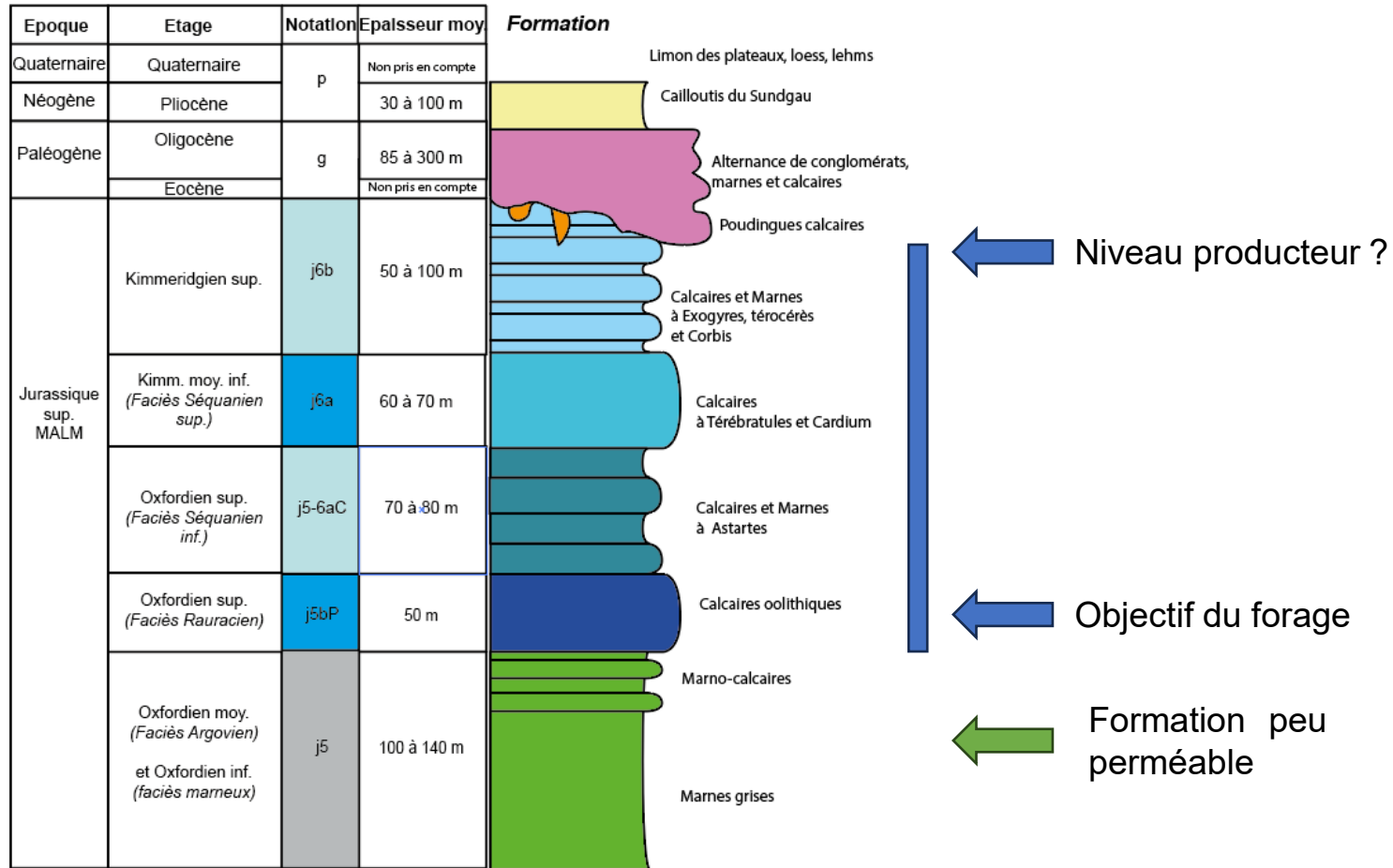


Fig. 19. Synoptique simplifié pour la définition de sites d'implantation de forages de reconnaissance.

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Définition de l'aquifère cible



- Couverture pliocène-oligocène qui protège la ressource.
- indices de présence de karst (Doney & Lacquement, 2002 ; Jauffret D., 1996) à l'interface tertiaire/jurassique.
- probable meilleure porosité intergranulaire et une fine fissuration dues à la disparition des intercalations marneuses.

Fig. 20. Pile lithostratigraphique finale d'après les résultats du modèle géologique 3D actualisé par la sismique.

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Sens d'écoulement

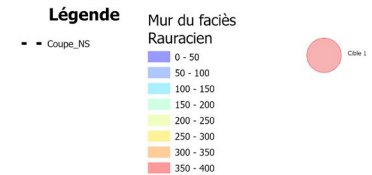
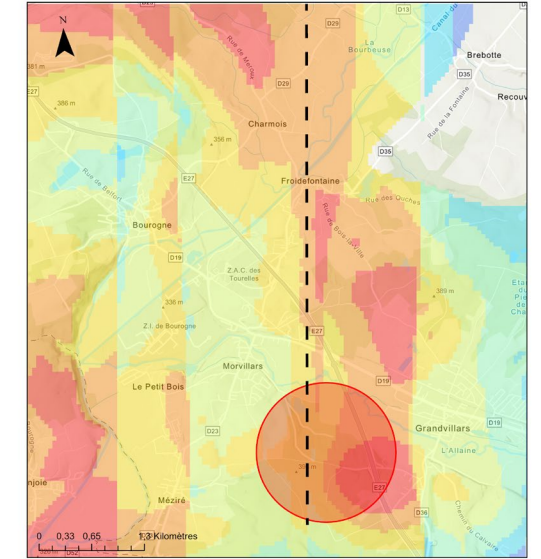
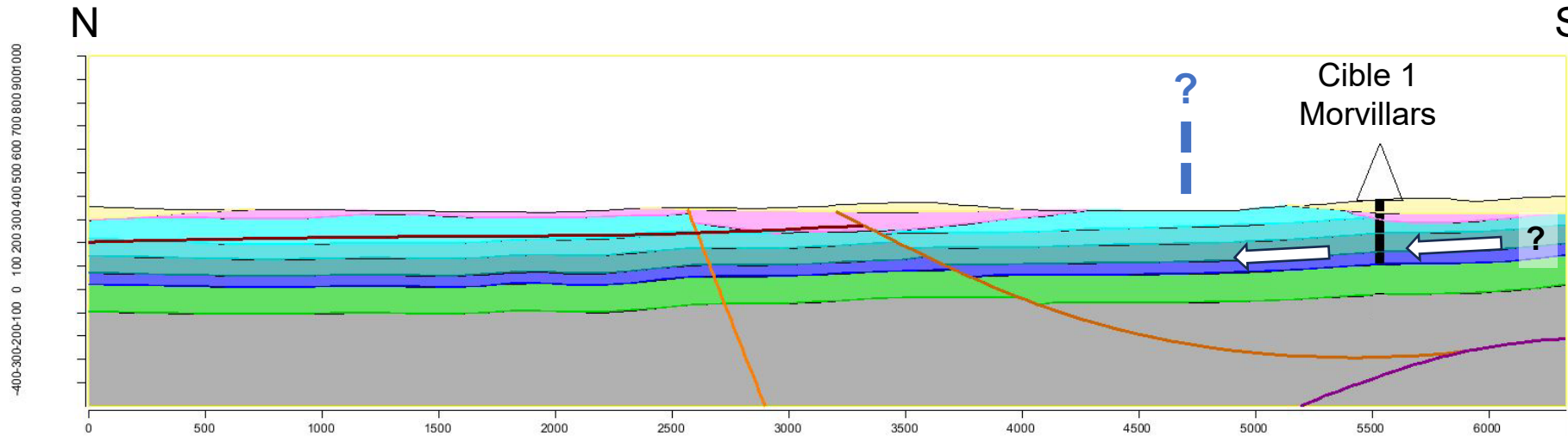


Fig. 21. Coupe N/S du modèle géologique 3D.

- Peu d'information sur le sens d'écoulement de la nappe.
- Les côtes altimétriques des sources et des vallées drainantes + résultats essais de traçage, il semblerait que la nappe soit alimentée à partir des affleurements jurassiques supérieur situé immédiatement au sud (plateau de l'Ajoie)
- Vallée drainante: confluence Bourbeuse/ Allaine ?

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Structures favorables

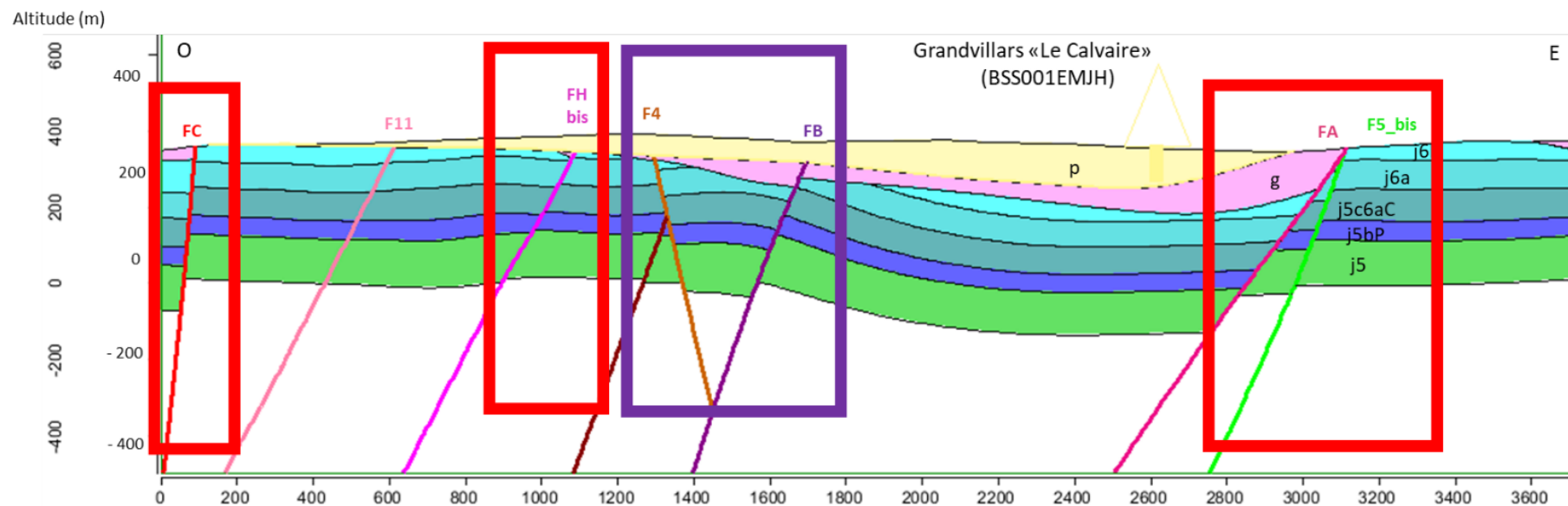


Fig. 22. Structures en horsts et grabens.

- ➔ Les failles seraient des structures favorisant l'écoulement de l'eau (Doney et Lacquement, 2022).
- ➔ Impact sur la géométrie du réservoir
- ➔ Épaississement de la couverture

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Bilan des critères d'implantation géologique

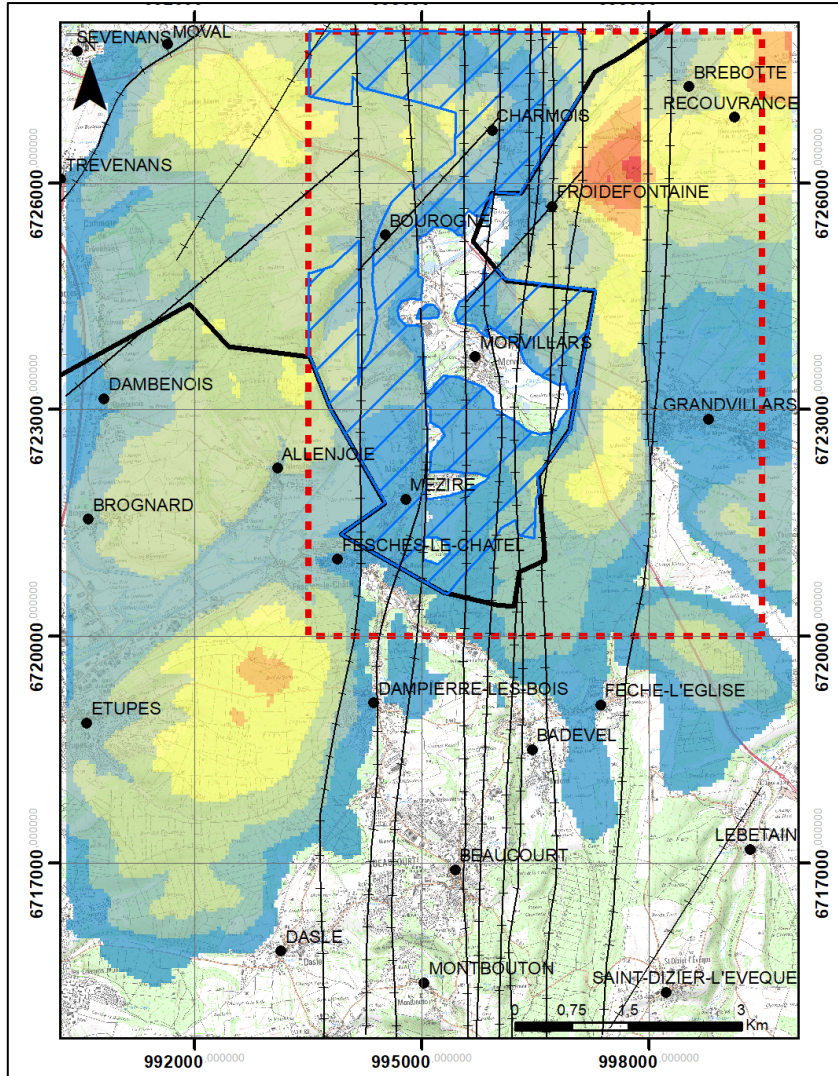
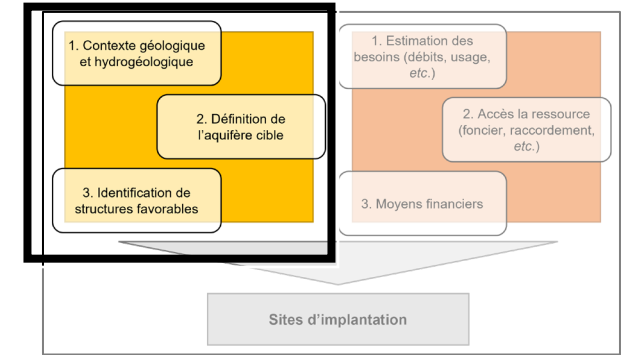


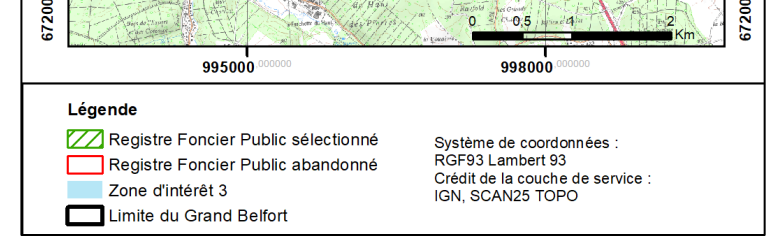
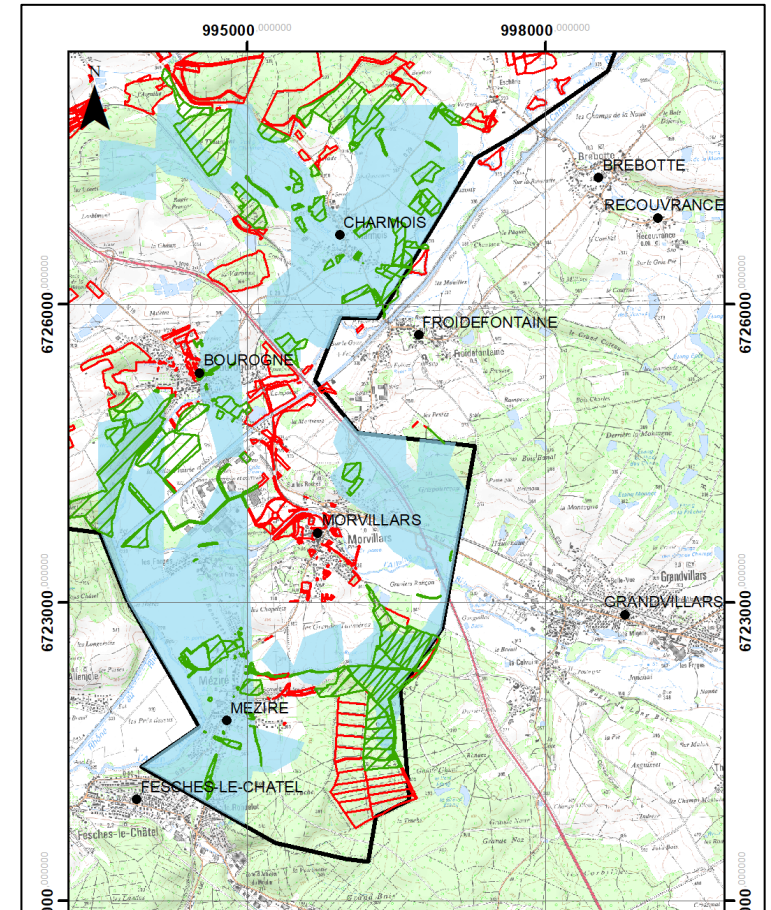
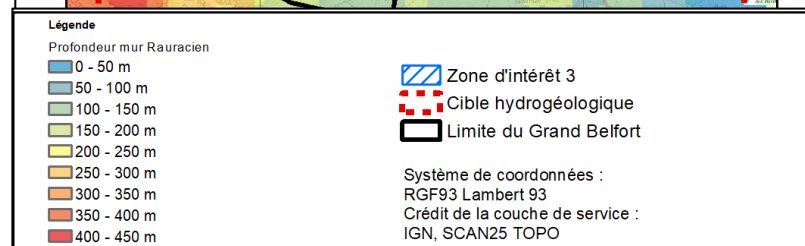
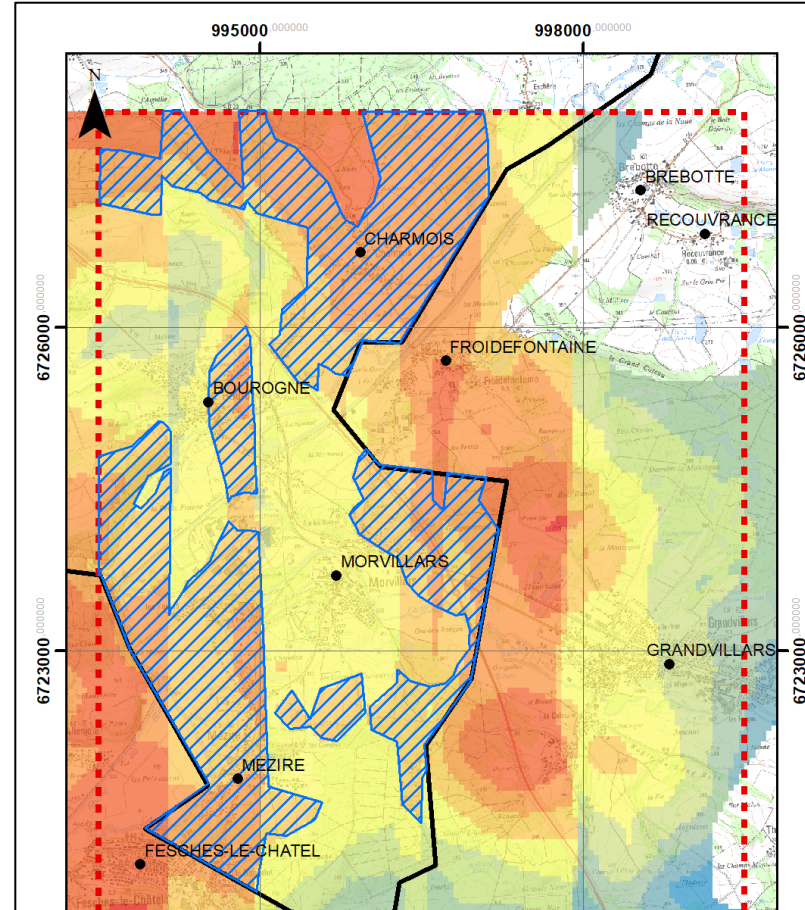
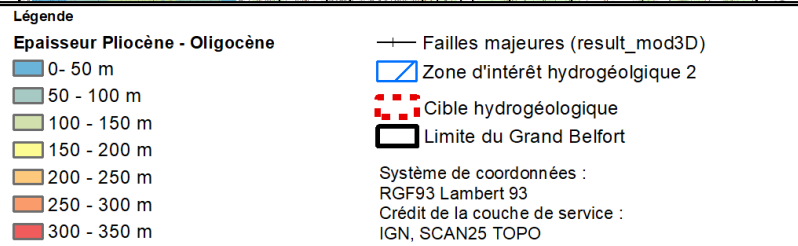
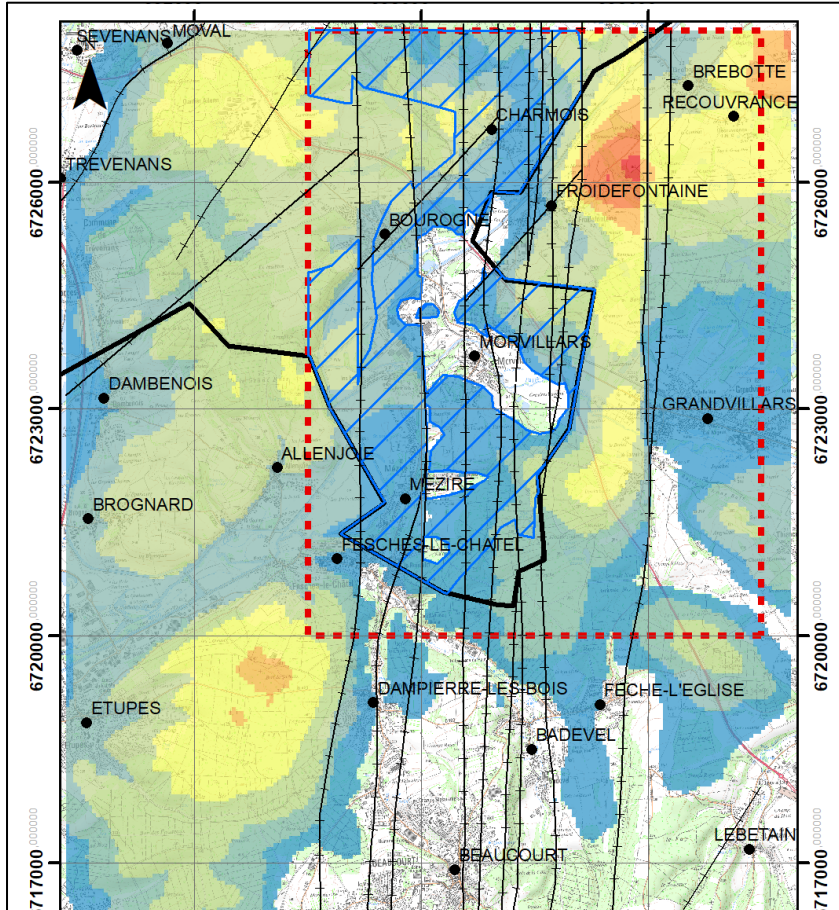
Fig. 23. secteurs d'intérêt

- Le système de failles
- L'épaisseur de la série jurassique
- L'épaisseur de la couverture pliocène-oligocène



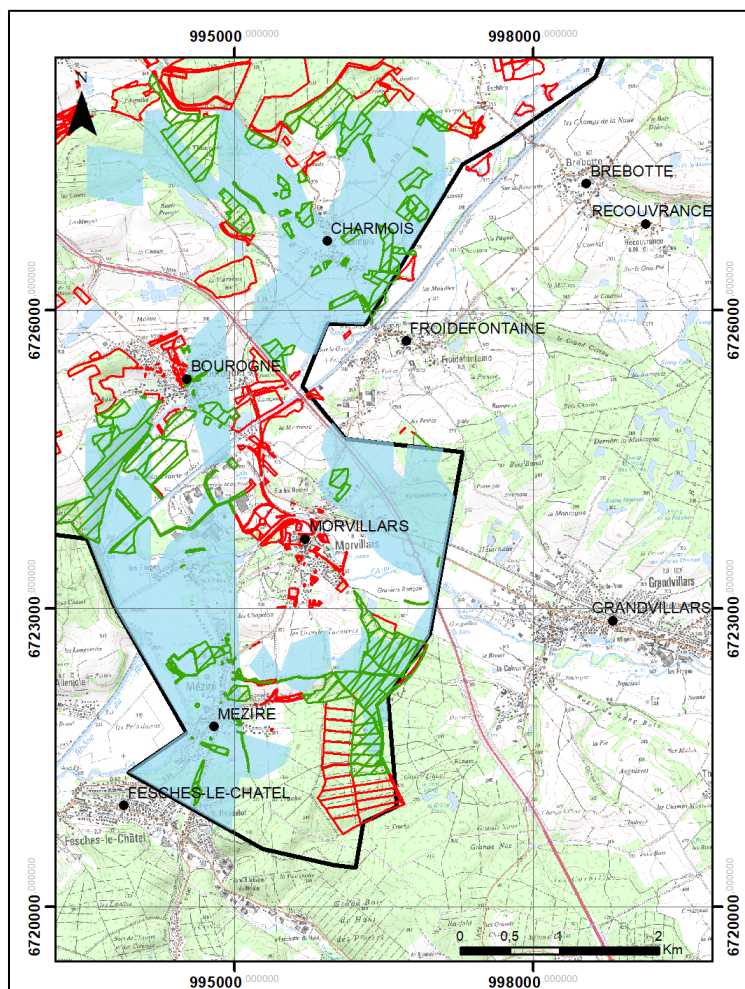
RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Critères géologiques, techniques et administratifs (1)



RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

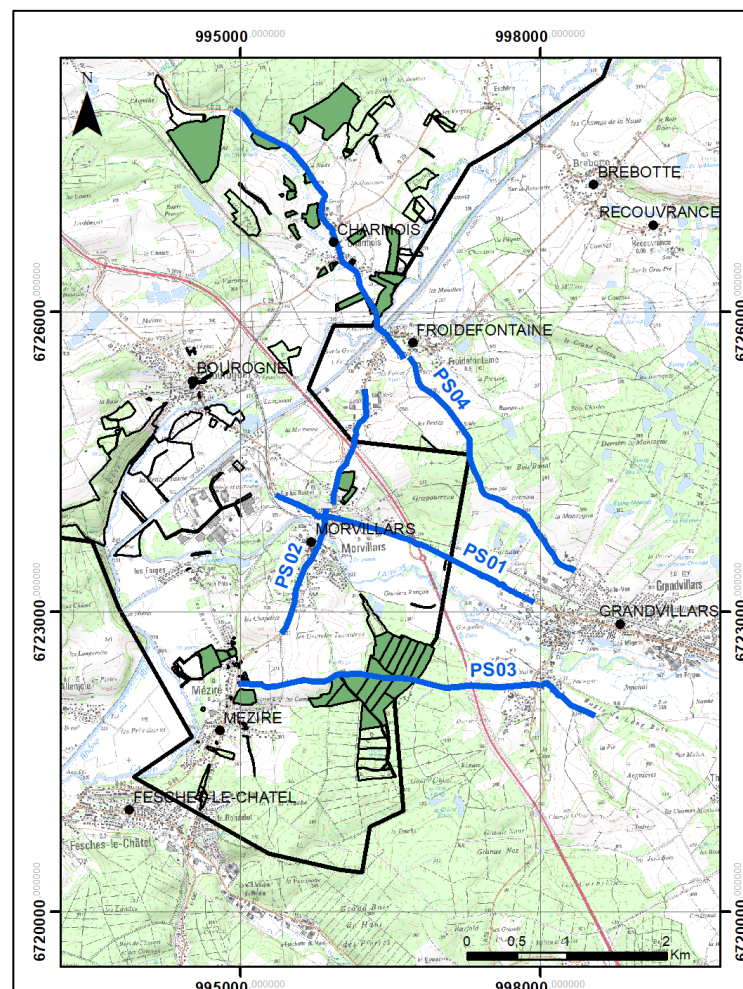
Critères géologiques, techniques et administratifs (2)



Légende

- Registre Foncier Public sélectionné
- Registre Foncier Public abandonné
- Zone d'intérêt 3
- Limite du Grand Belfort

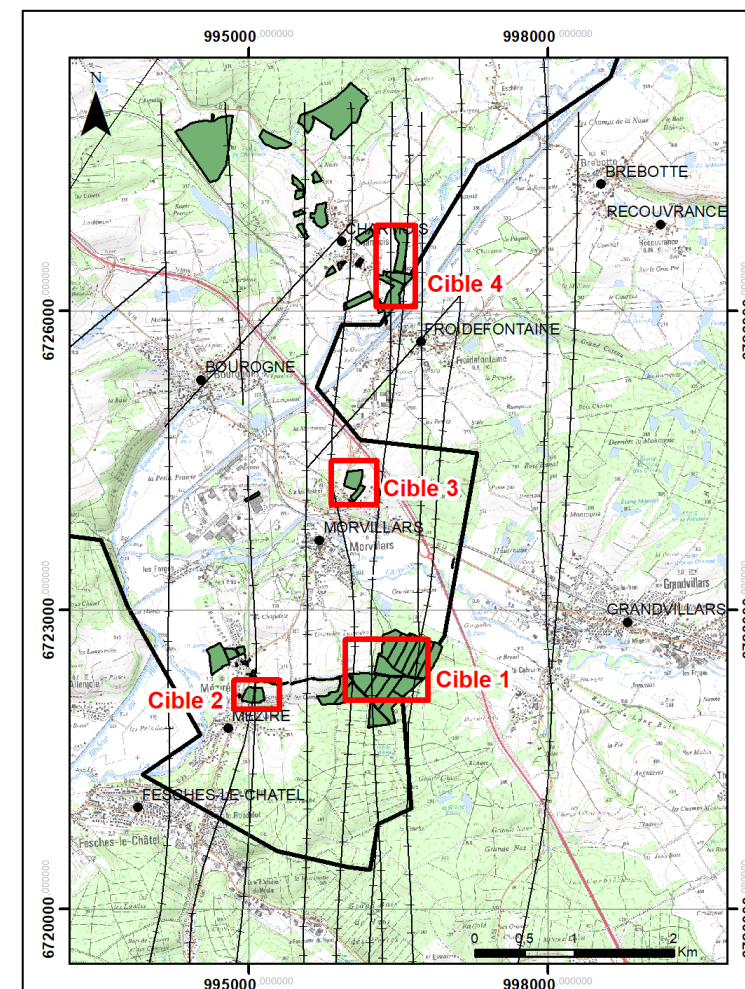
Système de coordonnées :
RGF93 Lambert 93
Crédit de la couche de service :
IGN, SCAN25 TOPO



Légende

- Profils sismiques
- Registre Foncier Public sélectionné
- Registre Foncier Public abandonné
- Limite du Grand Belfort

Système de coordonnées :
RGF93 Lambert 93
Crédit de la couche de service :
IGN, SCAN25 TOPO



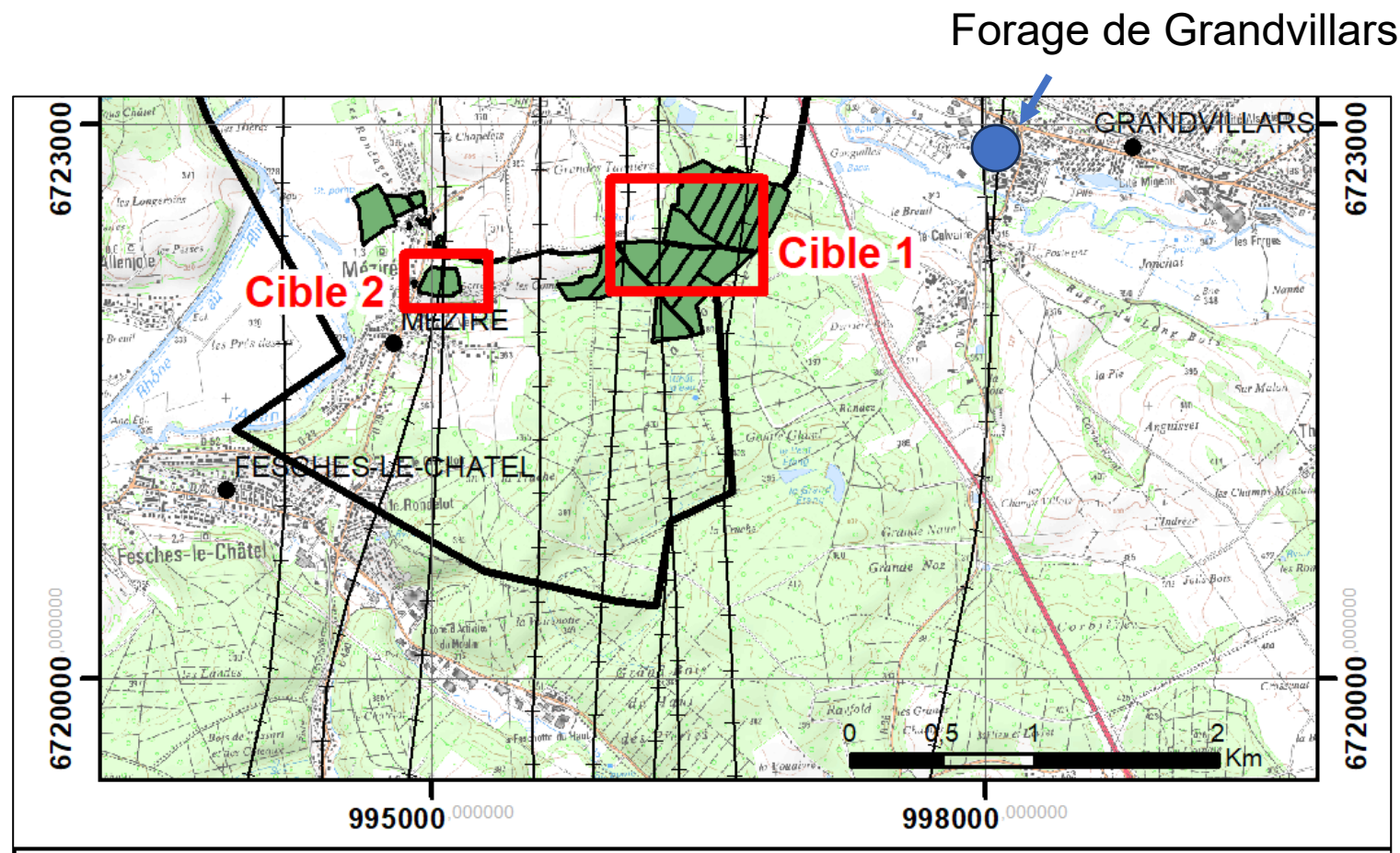
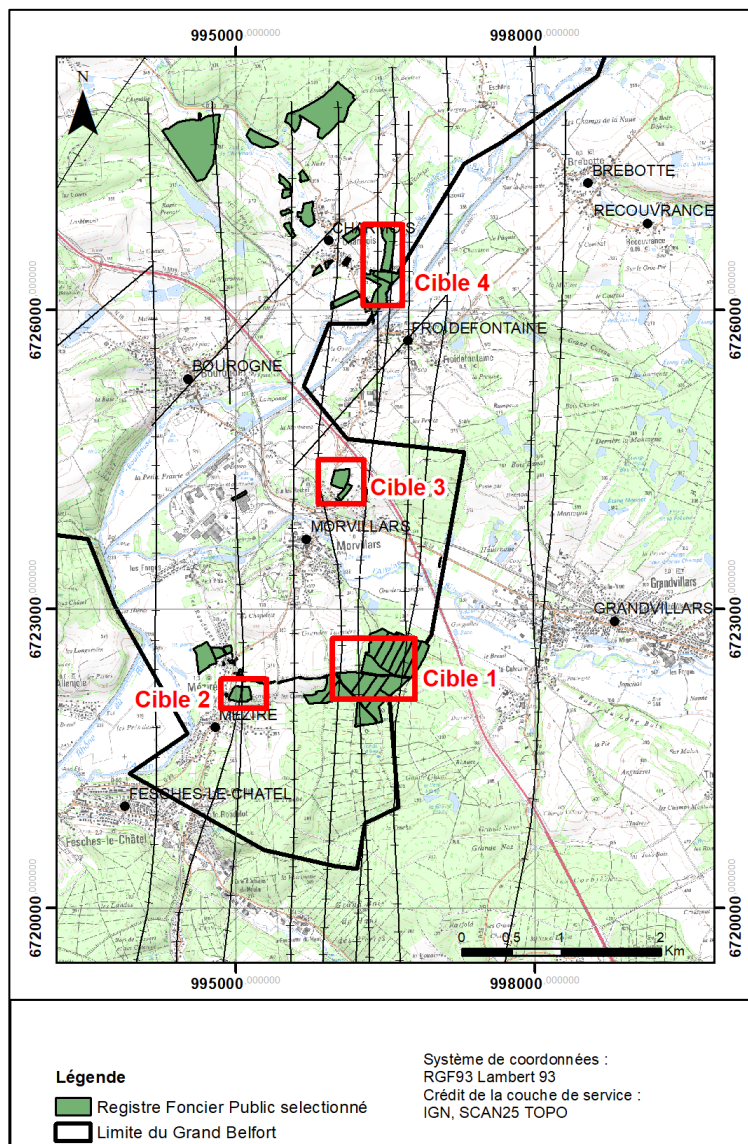
Légende

- Registre Foncier Public sélectionné
- Limite du Grand Belfort

Système de coordonnées :
RGF93 Lambert 93
Crédit de la couche de service :
IGN, SCAN25 TOPO

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

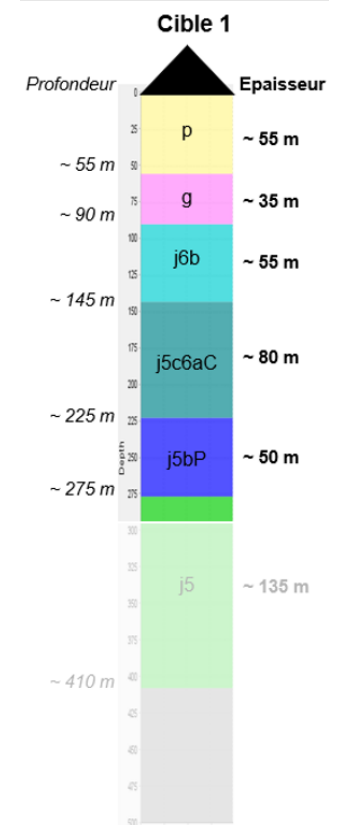
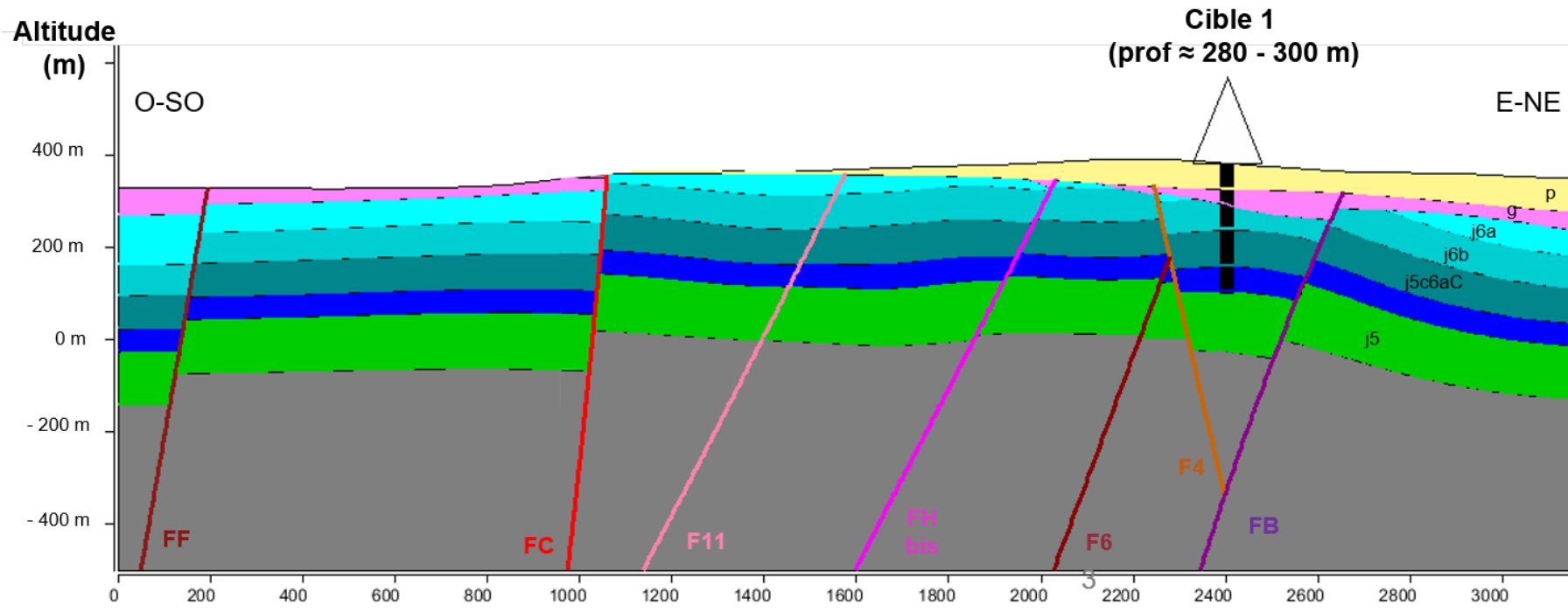
Critères géologiques, techniques et administratifs (3)



RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

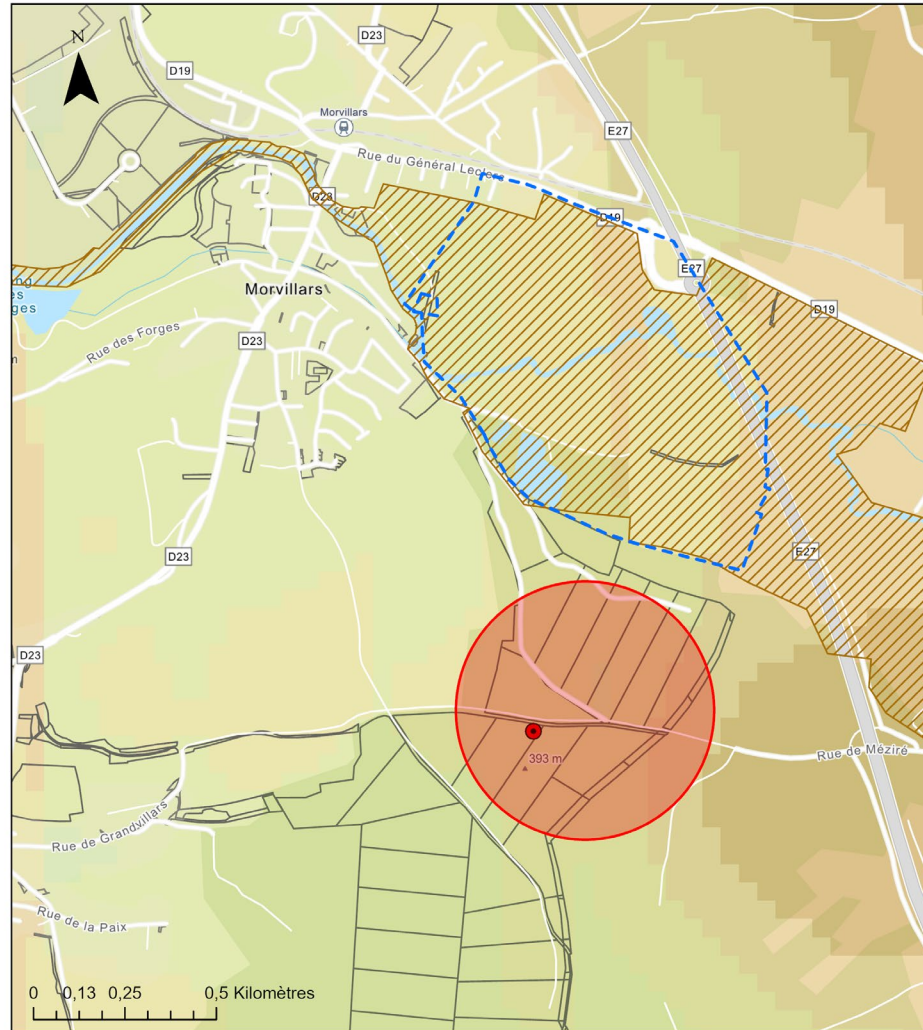
Cible 1

- Structure identifiée par la sismique
- Couverture importante (+ 50 m)
- Test possible, par essai de pompage, du rôle des failles en profondeur
- Proximité avec le puits de Grandvillars



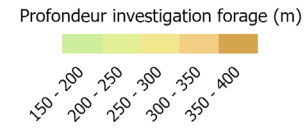
RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Cible 1



Légende

- Périmètre de protection captage Morvillars
- Zones de Protection Spéciales - Réseau Natura 2000
- Registre Foncier Public

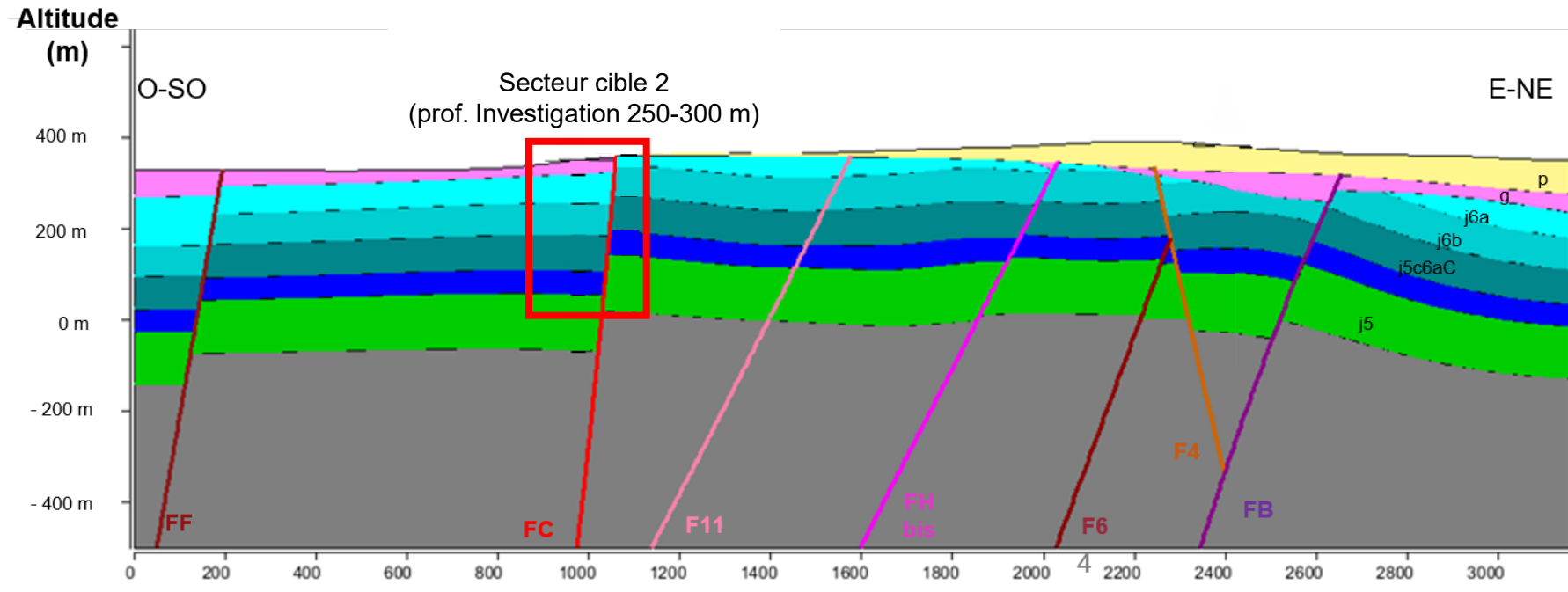


- Cible 1
- Localisation utilisée pour l'extraction de la colonne lithostratigraphique à partir du modèle géologique 3D

RECOMMANDATION POUR L'IMPLANTATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE

Cible 2 – conditionnée par les résultats de la cible 1

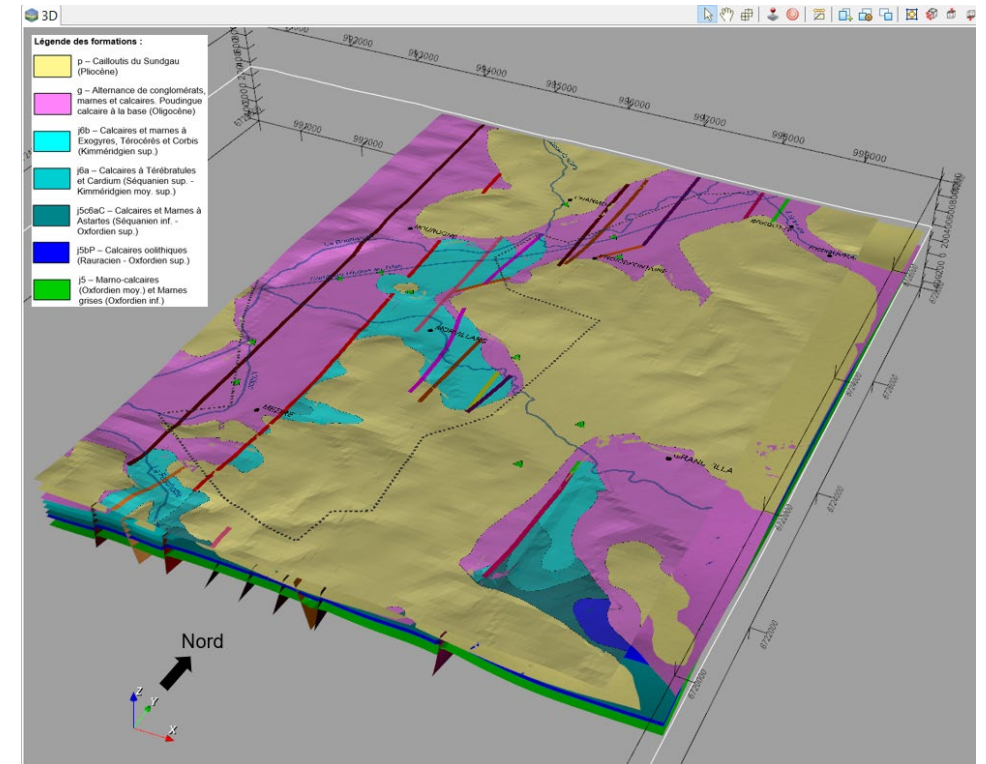
- ➔ Fracturation moins dense
- ➔ Couverture très variable selon positionnement par rapport à la faille
- ➔ Extension latérale de l'aquifère plus importante



Acquisition sismique et construction d'un modèle géologique 3D pour préciser l'implantation de forages de reconnaissance hydrogéologique dans les calcaires du jurassique du Grand Belfort – Réunion de clôture

Conclusion

- Le modèle géologique 3D final réalisé, démontre tout l'intérêt de la modélisation géologique 3D itérative et incrémentale dans le cadre de ce projet.
- Seize failles qui ont été interprétées et modélisées dans le modèle géologique 3D final du Grand Belfort. La majorité de ces failles sont orientée N-S et se prolongent, du sud vers le nord du modèle, de manière très linéaire. Leur pendage est généralement subvertical (entre 75 et 85°) à vergence vers l'ouest.
- La formation de l'oxfordien supérieur (faciès rauracien) (j5bP), constituée de Calcaires oolithiques a été définie comme la formation aquifère ciblée pour ce projet.
- Quatre cibles d'implantation pour un forage de reconnaissance ont été identifiées



Suite... Convention AMO Grand Belfort – BRGM

- Recommandations techniques pour la création du marché public

Équipements

- Diamètre de forage Ø17"1/2 pour habilitation 13"3/8 → isolation des formations tertiaires
- Foration des calcaires du jurassique Ø8"3/4 → trou nu si terrain stabilisé
- Options mise en place d'une colonne captante

Reconnaissance

- Échantillonnage
- Diagraphies: gamma-ray, résistivité, diamètreur et micro-moulinet.
- Essai de débits par palier et « longue durée » de 24h → première interprétation de la productivité + dimensionnement d'essais de pompage très longue durée.

Réception de l'ouvrage

- Diagraphies verticalité et CBL
- Suivi de travaux
 - 1 ingénieur hydrogéologue + 1 technicien BRGM
 - Formation et accompagnement d'un technicien de Grand Belfort

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Matthieu Delaunay

Ingénieur hydrogéologue – Chef de projet

Direction des Actions Territoriales – Région Île-de-France

AFD – BRGM, 5 rue Roland Barthes - 75012 PARIS

Tél : 06 82 38 77 93 / 01 40 58 89 06

m.delaunay@brgm.fr

www.brgm.fr