



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable
brgm



RESTITUTION PROJET AMIGO

30 SEPTEMBRE 2026
AUDITORIUM BRGM



@ENGIE



Elodie CERQUEIRA

Journaliste - Animatrice

Première partie (09h00-10h30) :

- Introduction par le BRGM et la Région Centre-Val de Loire
- Présentation des résultats du projet AMIGO et du potentiel de la géothermie profonde en Centre-Val de Loire (Geoscan Hexagone)
- Présentation du REX de l'opération de Melleray au Trias à Saint-Denis en Val
- Questions/réponses

Deuxième partie (11h00-12h30) :

- Témoignages d'acteurs clés, exemples de projets en géothermie profonde
 - *Exemple d'un doublet conventionnel adapté à un projet industriel: projet de Safran à Villaroche (77)*
 - *Exemples d'architectures composite et drains subhorizontaux: projets d'Aulnay-sous-Bois (93) et Chatenay-Malabry (92)*
 - *SOGEO : 4 villes unies par la géothermie pour un avenir décarboné - Le réseau de chaleur de Chaville, Sèvres, Ville-d'Avray (92) et Viroflay (78)*
- Questions/réponses



Frédéric GLANOIS

Directeur Energie et Décarbonation

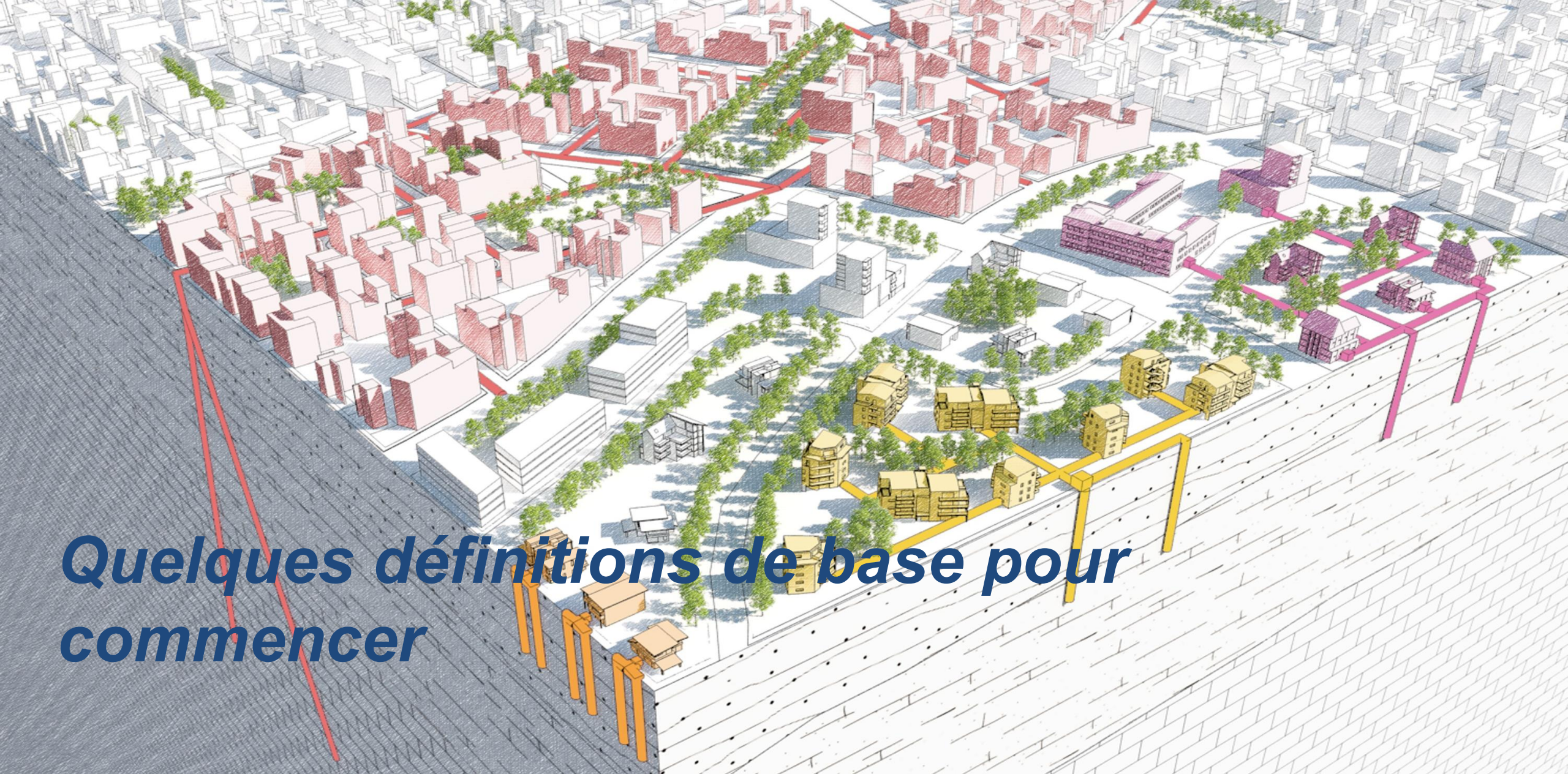
BRGM



Olivier BEATRIX

Conseiller régional en charge de la réindustrialisation, de la relocalisation et des investissements stratégiques pour la région Centre-Val de Loire

Région Centre-Val de Loire



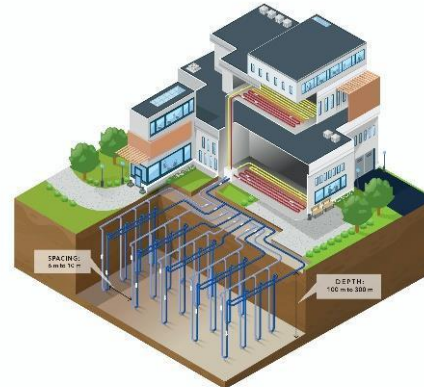
Quelques définitions de base pour commencer

Géothermie de surface

- 0 à 200 m de profondeur
- Utilisation d'une pompe à chaleur
- Chauffage de la maison individuelle jusqu'à de gros bâtiments ou de petits quartiers
- Peut se développer presque partout
- Puissance extractible: 10 kW/sonde et 1 MW/doublet



Sonde géothermique verticale



Champs de sondes verticales



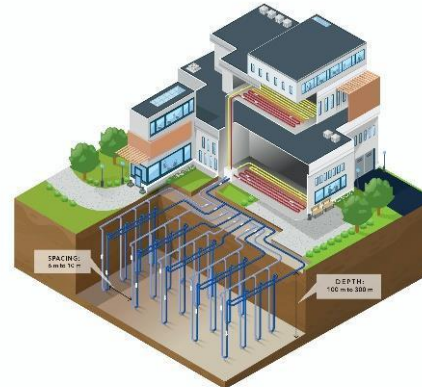
*Doublet (2 forages):
Pompage et réinjection
de l'eau souterraine*

Géothermie de surface vs Géothermie profonde

- 0 à 200 m de profondeur
- Utilisation d'une pompe à chaleur
- Chauffage de la maison individuelle jusqu'à de gros bâtiments ou de petits quartiers
- Peut se développer presque partout
- Puissance extractible: 10 kW/sonde et 1 MW/doublet



Sonde géothermique verticale

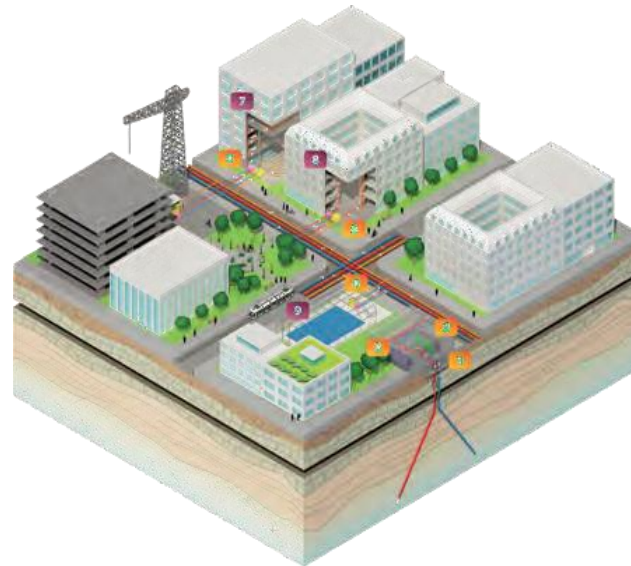


Champs de sondes verticales



*Doublet (2 forages):
Pompage et réinjection
de l'eau souterraine*

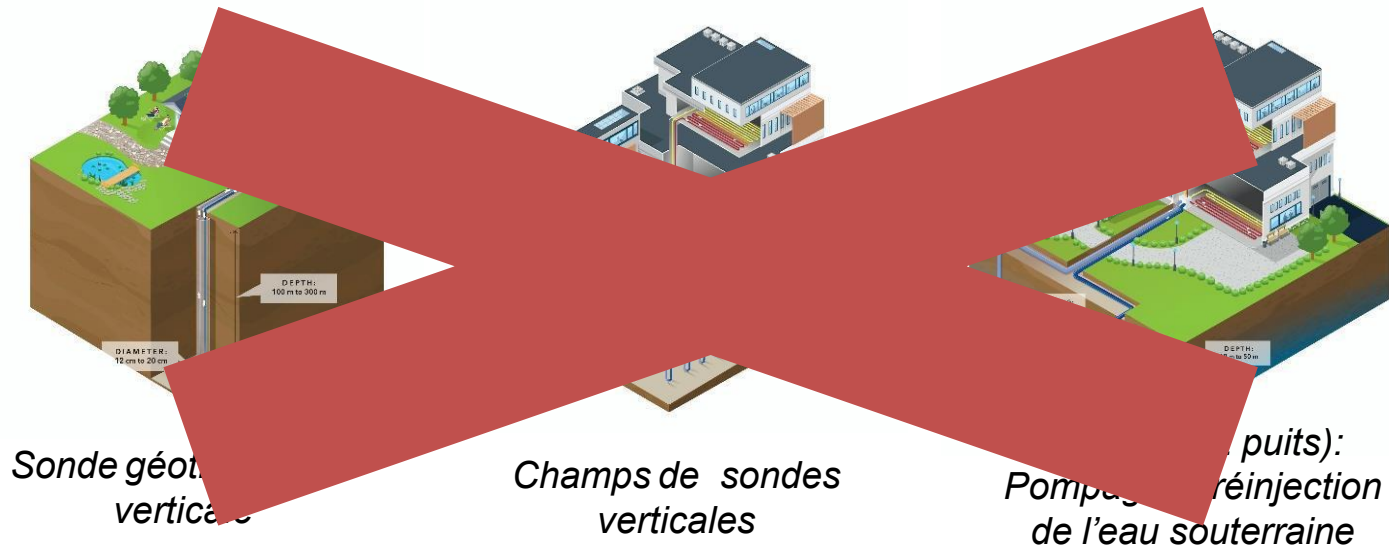
- Plus de 400 m de profondeur
- Possibilité d'utilisation directe de la chaleur ou avec apport PAC
- Chauffage de gros bâtiments à un quartier / ville entière
- Nécessite la présence d'une ressource profonde
- Puissance extractible: de l'ordre de 4 à 20 MW/doublet



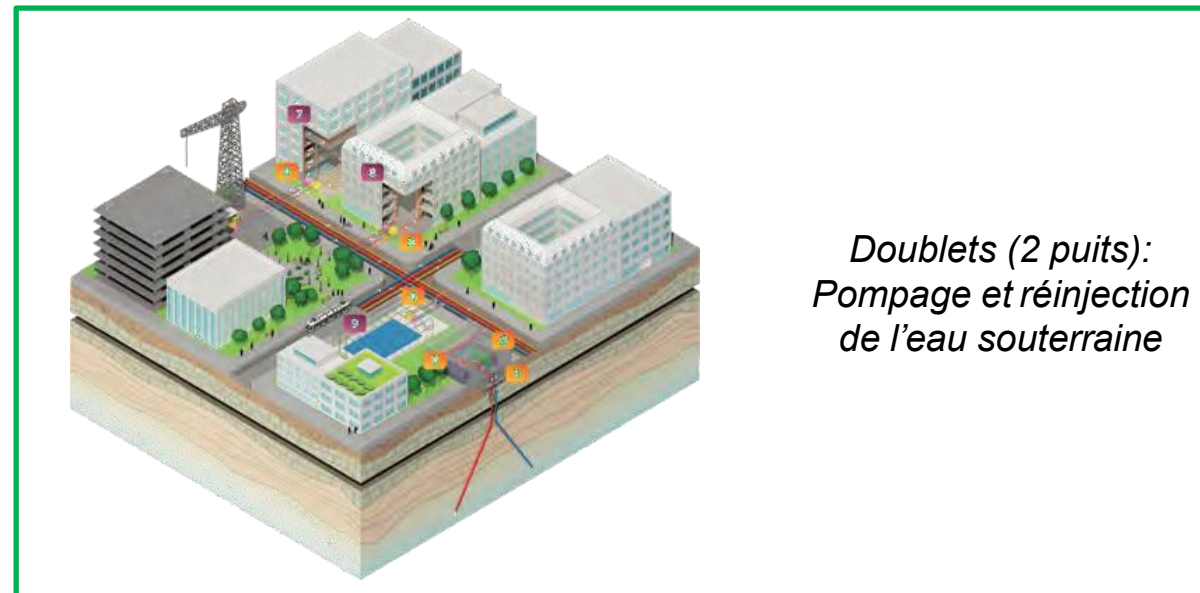
*Doublet (2 forages):
Pompage et réinjection
de l'eau souterraine*

Géothermie de surface vs Géothermie profonde

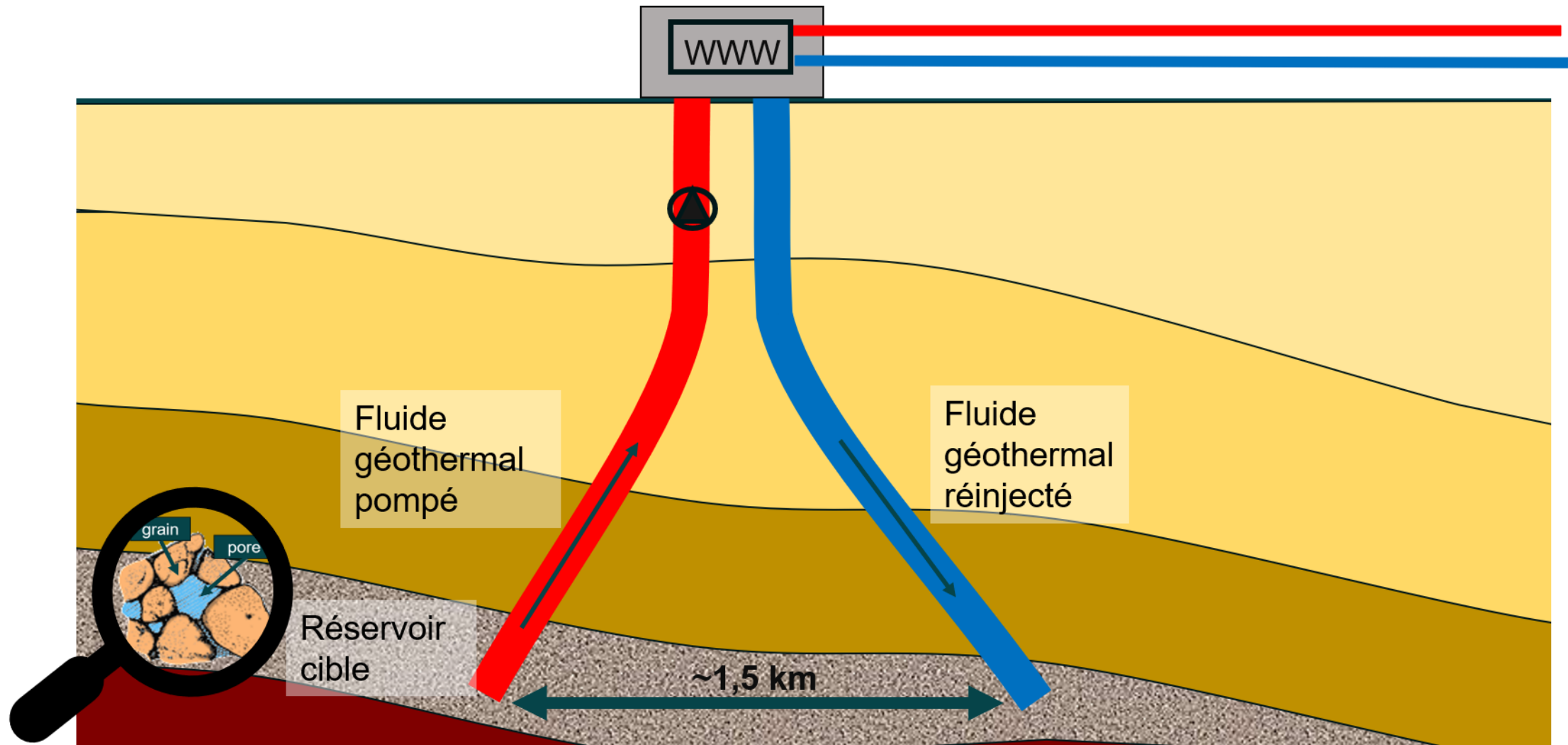
- 0 à 200 m de profondeur
- Utilisation d'une pompe à chaleur
- Depuis la maison individuelle jusqu'à de gros bâtiments ou de petits quartiers
- Peut se faire presque partout
- Puissance extractible: 10 kW/sonde et 1 MW/doublet



- Plus de 400 m de profondeur
- Possibilité d'utilisation directe de la chaleur ou avec apport PAC
- Depuis de gros bâtiments à un quartier / ville entière
- Nécessite la présence d'une ressource profonde
- Puissance extractible: 4 à 20 MW/doublet



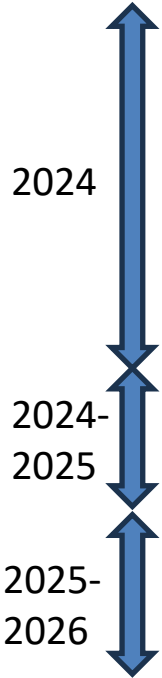
Principe d'un doublet de forage





Le projet AMIGO

- **Objectif: développer un argumentaire de la géothermie profonde**, à destination des acteurs publics et privés de la région, pour un usage de la chaleur dans les secteurs du résidentiel, tertiaire, de l'industrie et de l'agriculture
- **Les différentes phases du projet :**
 - **Identification des principaux acteurs pouvant être intéressés par une solution de géothermie profonde en région CVL** (collectivités, structures d'accompagnement, serristes et industriels)
 - **Interrogation/Interview des acteurs sur :** leurs besoins de chaleur et sources d'énergie actuelles, les atouts / freins de la géothermie et les leviers potentiels (financiers/administratifs, modes de communication, formation/accompagnement, technico-économiques)
 - **Evaluation multi-acteurs et multicritères** sur la base de l'importance accordé aux différents arguments des acteurs et qui concernent les atouts, freins et leviers de la géothermie profonde
 - **Evaluation économique et environnementale** de la géothermie profonde en comparaison d'autres EnR (biomasse, solaire thermique)
 - **Evaluation du potentiel de la ressource géothermale en région CVL** > lien avec « Geoscan Hexagone »
 - **Rédaction d'un argumentaire de la géothermie profonde**

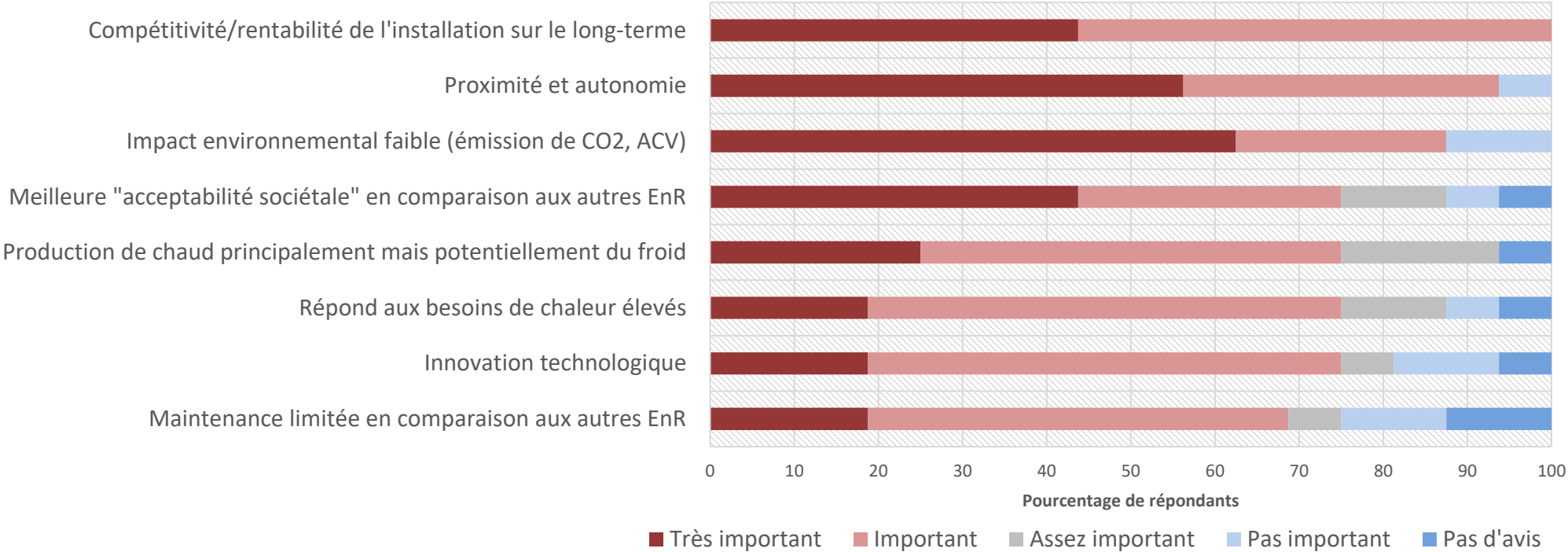


Positionnement des acteurs de la région

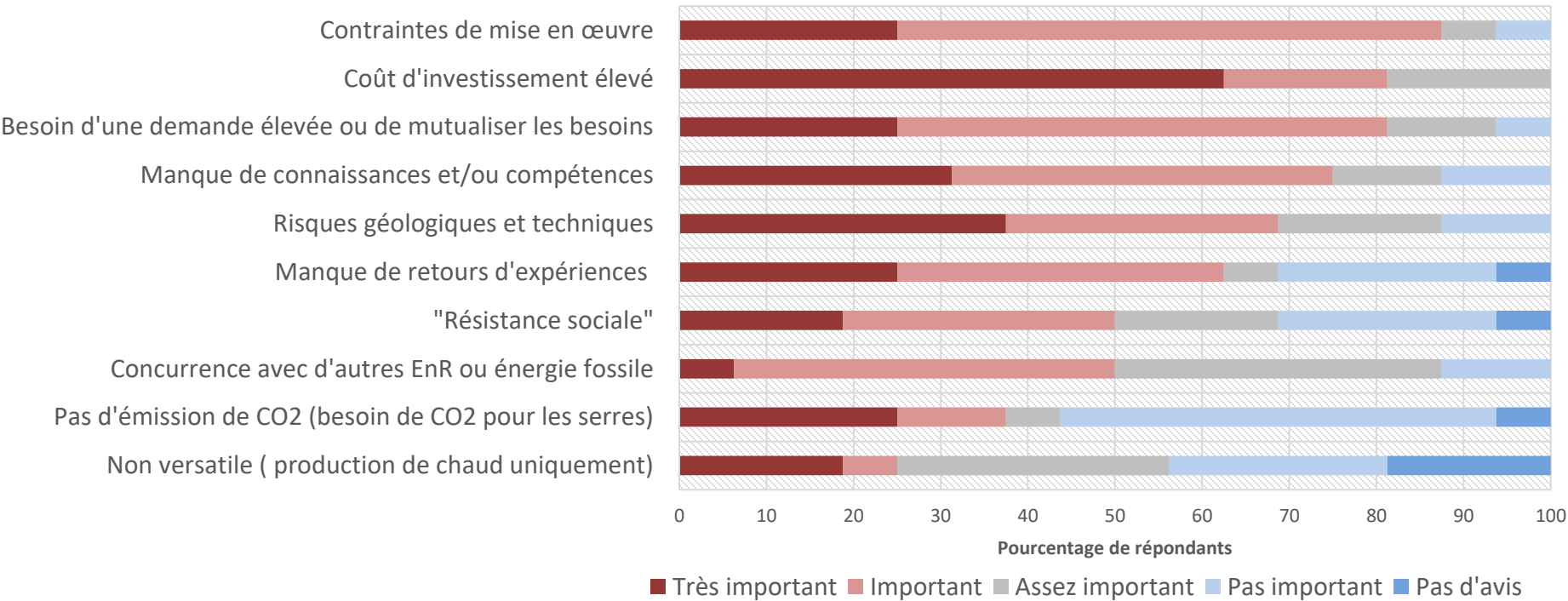
- Identification **d'une soixantaine d'acteurs dont 34 ont accepté d'être interviewés dans le cadre du projet** entre mai et septembre 2024 :
 - 13 acteurs représentant des collectivités
 - 9 acteurs représentant des syndicats d'énergie ou organismes de financement
 - 12 acteurs représentant des entreprises ou des serristes
- Présentation des résultats des entretiens auprès des acteurs interviewés sous la forme d'un **webinaire le 26/11/2024**
 - > Projet AMIGO, Argumentaire pour le déploiement de la géothermie profonde en région Centre-Val de Loire : atelier de restitution des premiers résultats | Geothermies
- Envoi d'un questionnaire multichoix aux acteurs interviewés construit à partir **des différentes catégories d'arguments qui ressortaient des entretiens individuels des acteurs** :
 - L'intérêt portée par leur structure à l'étude d'une solution de géothermie profonde pour répondre à leurs besoins de chaleur
 - **L'importance accordé aux arguments identifiés comme des atouts, des freins ou des leviers potentiels de la géothermie profonde**
 - L'échelle et l'horizon temporel auxquels les acteurs considèrent leur usage de la chaleur
 - Les documents sur lesquels ils s'appuient pour la planification de leurs besoins
 - Les compétences extérieures mobilisées et domaines de compétence concernés

Positionnement des acteurs de la région

Arguments des acteurs vus comme des atouts de la géothermie profonde

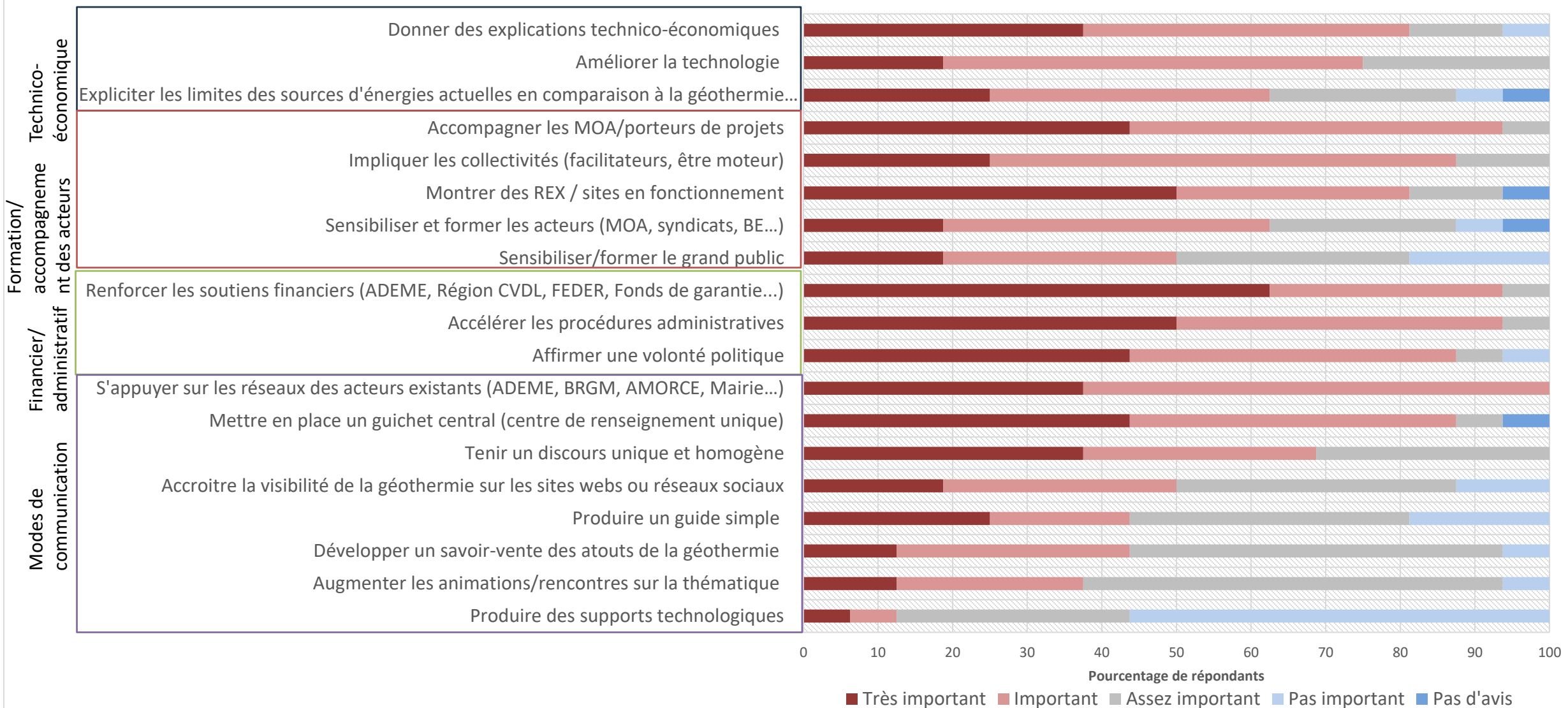


Arguments des acteurs vus comme des freins de la géothermie profonde



Positionnement des acteurs de la région

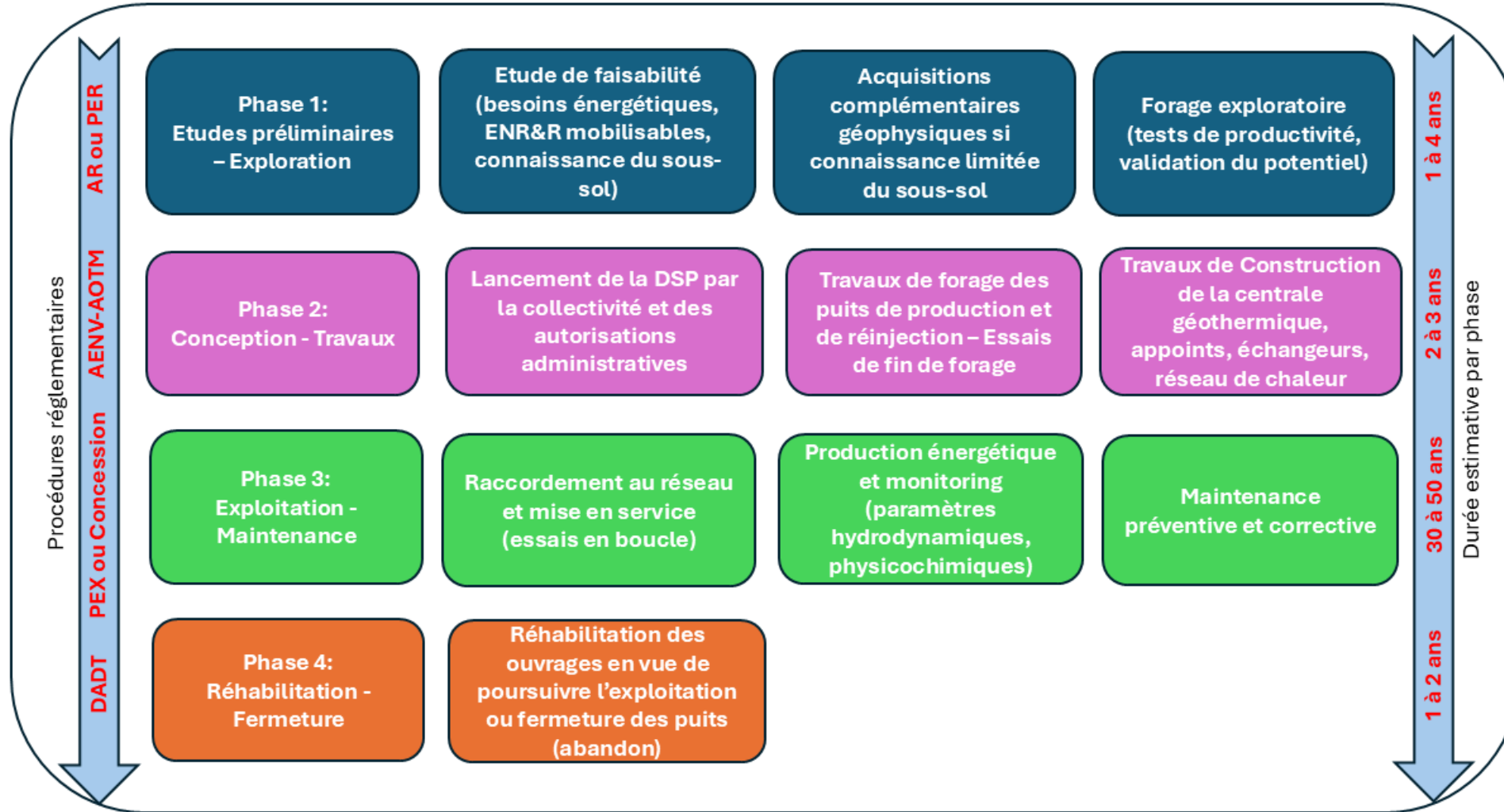
Arguments des acteurs vus comme des leviers de la géothermie profonde



- **Objectif** : évaluer la rentabilité et performance économique d'un projet
- **Indicateurs technico-économiques et financiers** :
 - Le **LCOE** - Levelized Cost of Energy- Coût actualisé de l'énergie (€/MWh)
 - La valeur actuelle nette (**VAN**)
 - Le taux de rentabilité interne (**TRI**) et le temps de retour sur investissement (**PP**)
- **Principales sources de données utilisées** :
 - ADEME (Evolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération, édition 2024)
 - AMORCE (Enquête sur le prix de vente de la chaleur et du froid, édition 2025)
 - CFG (Travaux forage, surface)
 - ENGIE (PACs)

Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

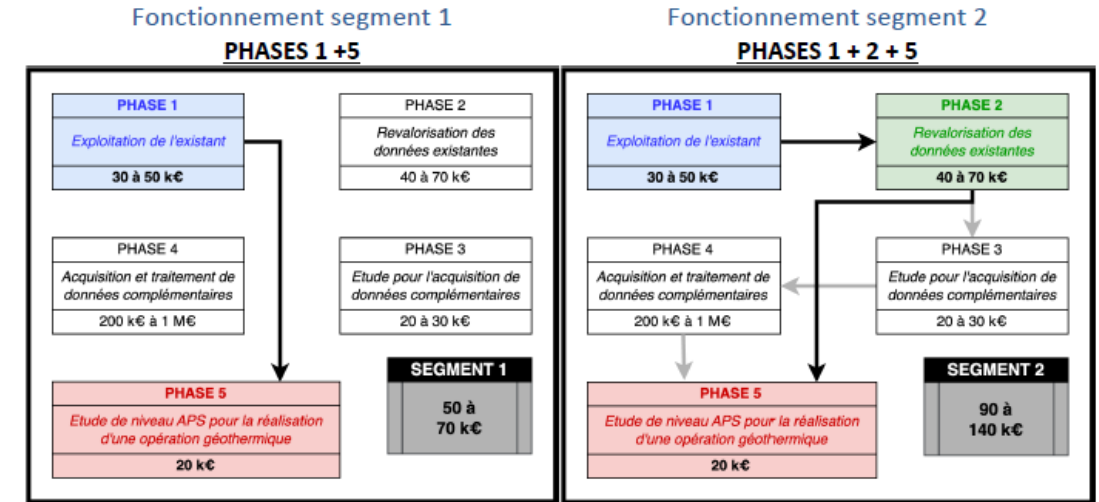
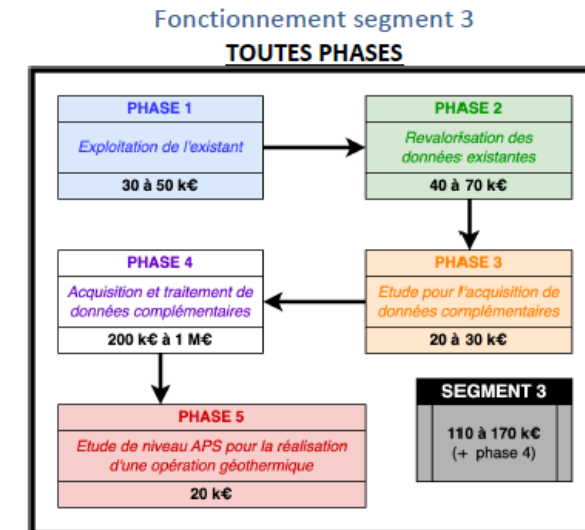
- Les étapes d'un projet de géothermie profonde



Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Hypothèse 1: Etudes préliminaires de « dérisking » > phase 1

- **Segment 1** – Projets présentant un risque faible (zone géologique et potentiel géothermique connus)
 - > coût du dérisking évalué **entre 50 et 70 k€**
- **Segment 2** – Projets présentant un risque moyen (zone géologique connue mais potentiel géothermique peu connu)
 - > coût du derisking évalué **entre 90 et 140 k€**
- **Segment 3** - Projets présentant un risque fort (zone géologique et potentiel géothermique mal connus)
 - > coût du derisking évalué **entre 310 et 1170 k€**



Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Hypothèse 2: CAPEX et OPEX - Les différents postes de dépenses > phase 2-3

Phases	Composantes
Travaux de forage	Plateforme – avants puits
	Lot Forage et services associés (déviations, cimentation, acidification/essais...)
	Lot Tubages
	Lot Mudlogging
	Lot Diagraphies
Travaux de surface (boucle géothermale)	Equipements extérieurs et puits
	Equipements intérieurs en centrale géothermique
Etudes amont (segment de risque)	Installation et fourniture de la boucle géothermale
	Risque faible
	Risque moyen
Assurances	Risque fort
	TRC, SAF
PACs	Coût d'achat

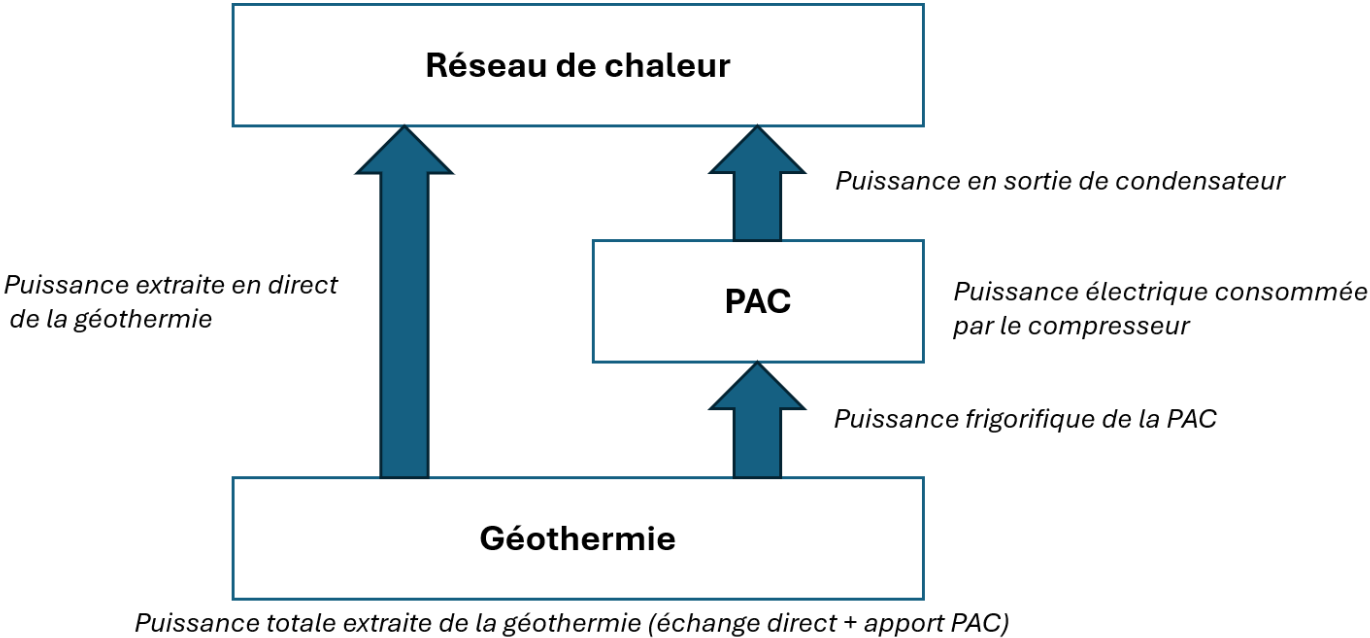
CAPEX: 18-21 M€
OPEX: 1500-1800 k€/an

Catégories	Postes	Composantes
Coûts variables	P1 - Consommations	Fourniture d'électricité de pompage
		Fourniture d'inhibiteur de corrosion
		Fourniture électricité PACs
Coûts Fixes	P2 - Suivi et entretien courant	Suivi de la boucle géothermale
		Diagraphies règlementaires puits producteurs/injecteurs
		Filtres et échangeurs
		Conduite et petite maintenance de la boucle
		Contrat anti-éruption
		Cotisation Fonds de garantie geothermie
		Maintenance PACs
	P3 - Gros entretien et renouvellement	Renouvellement pompe exhaure/colonne d'exhaure
		Renouvellement des têtes de puits
		Renouvellement ligne injection inhibiteur
		Renouvellement pompe d'injection (fourniture et main d'œuvre)
		Maintenances pompe d'injection (Garniture pomme-roulement moteur)
		Maintenances échangeurs et filtres
		Renouvellement variateur et transformateur élévateurs
		Maintenance variateur et transformateur élévateurs
		Renouvellement station et traitement
		Renouvellement robinetteries (hors têtes de puits), capteurs
		Maintenance capteurs/télégestion/conduites/robinetteries
		Acidification douce des tubages et réservoirs
		Curage mécanique et rechemisage complet du doublet

Hypothèse 3: Caractéristiques techniques d'un projet de géothermie profonde > phase 3

Q(m3/h)	Tprod (°C)	Tretour res (°C)	Tinj (°C)	Péchange direct (MW)	Pcond PAC (MW)	Pelec PAC (MW)	Ptotale (MW)	E (MWh)
160	55	40	25	2.79	3.34	0.56	6.13	21479.80
240	55	40	25	4.18	5.02	0.84	9.20	32219.70
320	55	40	25	5.57	6.69	1.11	12.26	42959.60

PUISSANCE (MW)	RISQUE	TAUX D'ACTUALISATION (%)	FACTEUR CHARGE (%)	DUREE DE VIE (Années)	
6,9,12	Faible, Moyen, Elevé	3	40	30	45

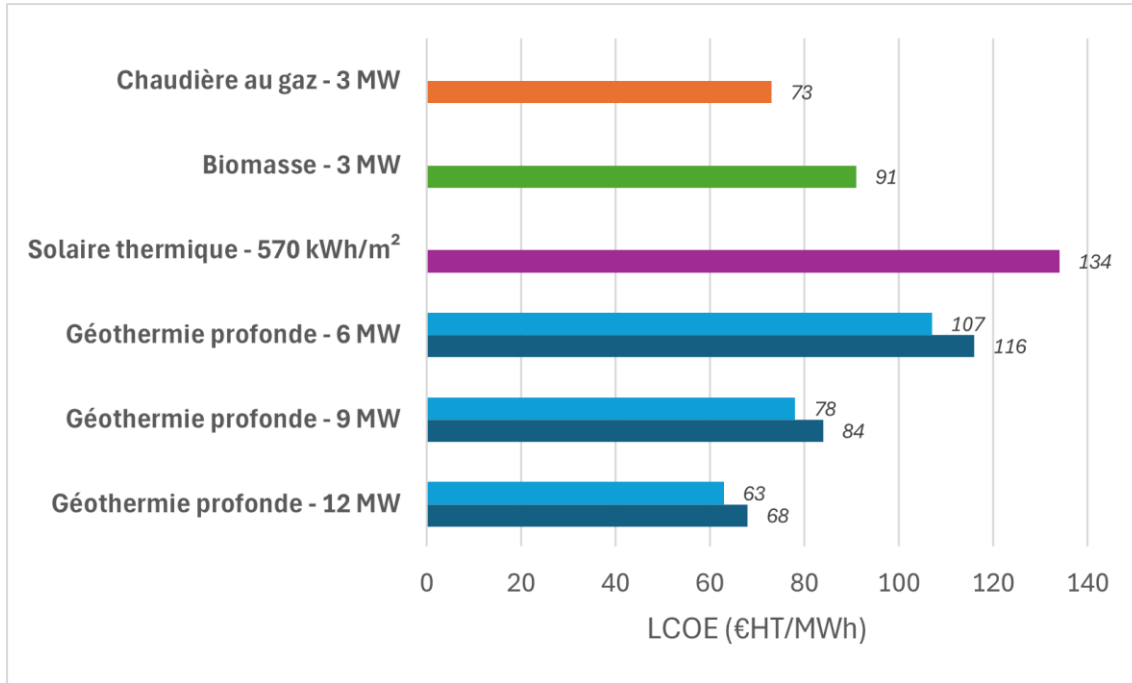


Hypothèse 4: Caractéristiques des autres sources de chaleur EnRs et chaudières gaz

EnRs	Postes	Chiffrage
Chaudières au gaz	Capacité (MW)	3
	Productible (nb. heures/an)	4000
	Rendement sur PCI (%)	91
	Durée de vie (années)	30
	Investissement (€ HT/KW)	63
	Exploitation (€ HT/MWh)	5
	Prix du Gaz naturel (€ HT/MWh)	67
	Taux d'actualisation (%)	3
Solaires thermiques collectives, tertiaires et industrielles de 500 m²	Productible (kWh/m²)	570
	Durée de vie (années)	30
	Investissement (€/m² HT)	1 280
	Exploitation (€/m²/an HT)	11,1
	Taux d'actualisation (%)	3
Chaudières biomasse collectives et tertiaires en usage direct	Capacité installé (MW)	3
	Heures de fonctionnement par an	3200
	Durée de vie (années)	20
	Rendement (%)	87
	Investissement (€ HT/KW)	1290
	Coût combustible (€/MWh)	28,8
	Coût OPEX (€/MWh)	34,8
	Taux d'actualisation (%)	3

Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Comparaison du LCOE de la géothermie et des autres sources de chaleur



Comparaison des LCOE des différentes sources d'énergie. Pour la géothermie profonde. Deux durées d'exploitation sont considérées : 30 ans (barres bleu foncé) et 45 ans (barres bleu ciel)

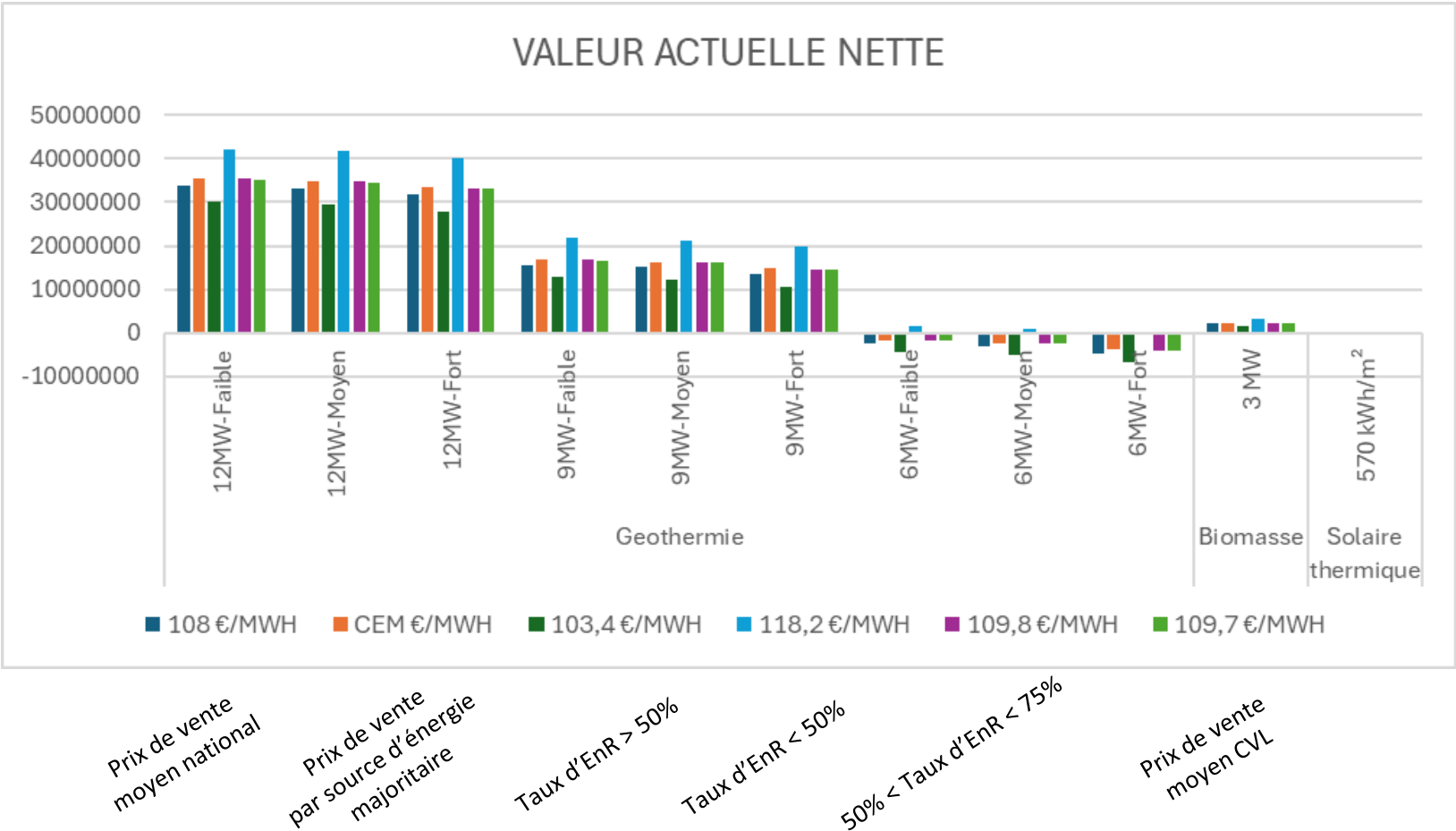
- Projets de **9 et 12 MW ont un LCOE compris entre 63 et 84 €/MWh** > compétitifs comparé aux autres EnR et chaudière gaz
- Projet de **6 MW présente un LCOE plus élevé (>107 €/MWh)** excepté en comparaison au solaire thermique
- Le segment de risque a un impact limité sur le LCOE (**entre 2 et 5 €/MWh**)



Maximiser l'utilisation de la géothermie permet de réduire le LCOE

Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Evaluation de la VAN*

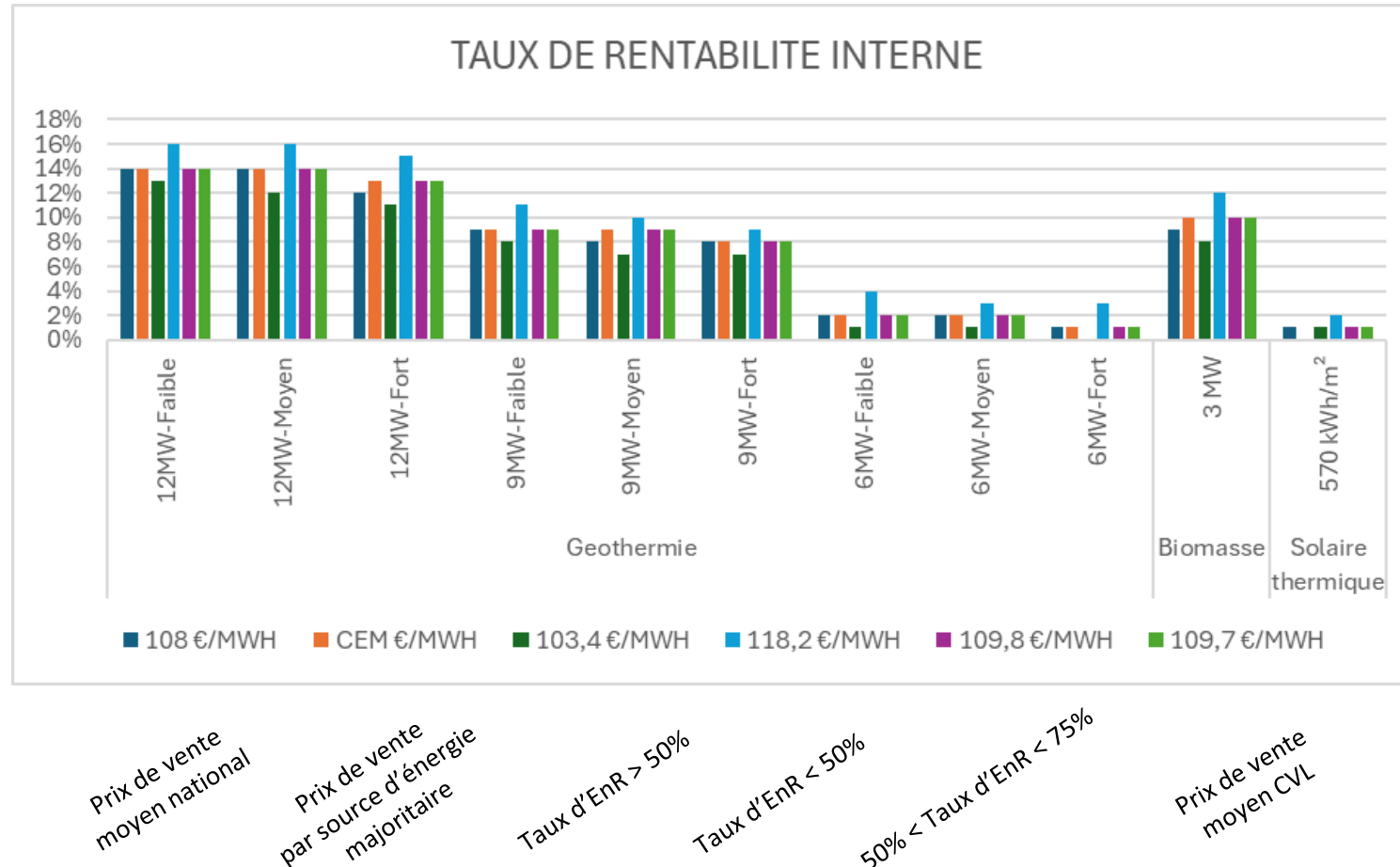


- VAN largement positive pour les projets de 9 et 12 MW
- VAN faible à négative pour les projets de 6 MW
- Biomasse présente une VAN modérément positive
- Solaire thermique présente une VAN négative

**La VAN permet de juger de la rentabilité d'un investissement. Si la VAN est positive, l'investissement est rentable. Si la VAN est négative, l'investissement n'est pas suffisamment rentable pour atteindre le taux de rendement fixé par les investisseurs. Si la VAN est nulle, le projet est juste à l'équilibre financier.*

Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Evaluation du TRI*

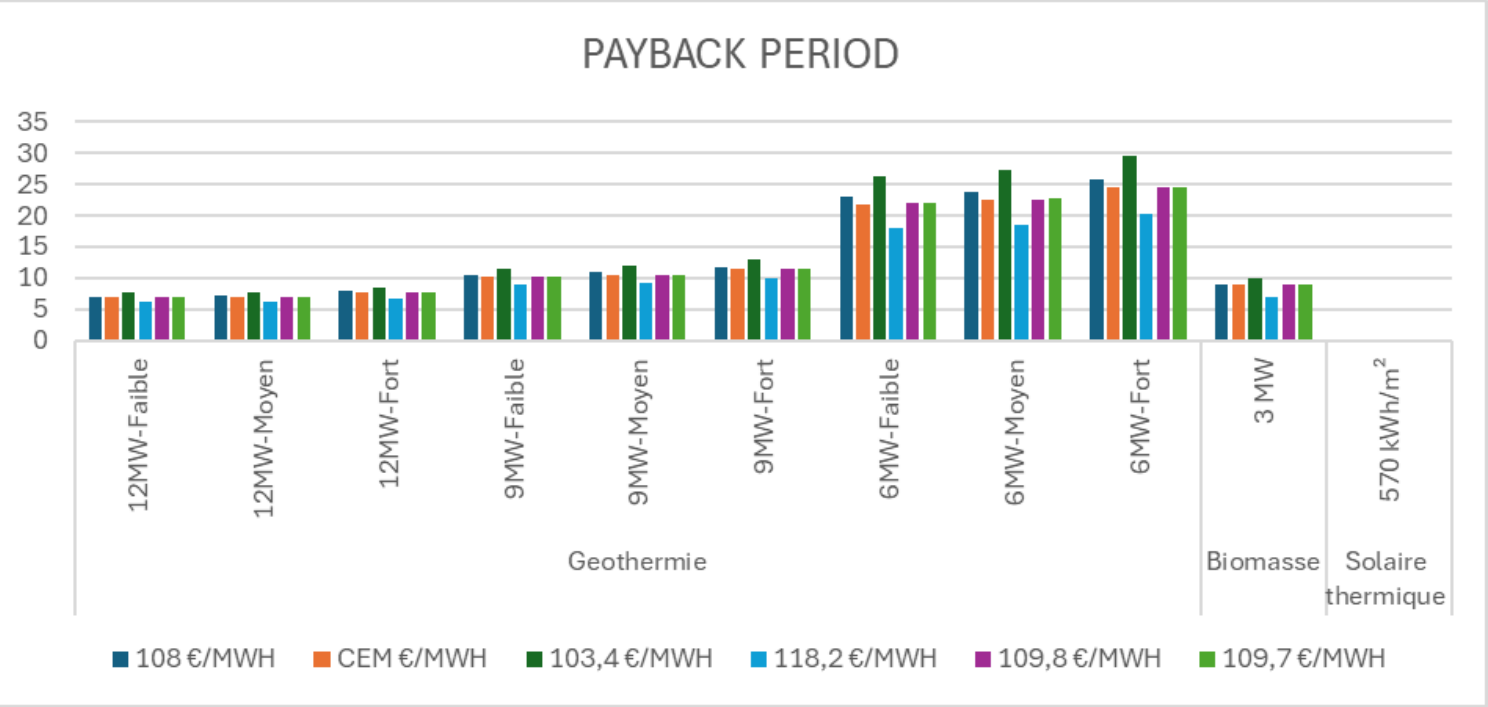


- TRI entre 7 et 16% pour les projets de 12 et 9 MW
- TRI entre 0 et 4% pour les projets de 6 MW
- TRI entre 8 et 12% pour la biomasse
- TRI entre 1 et 2% pour le solaire thermique

*Le TRI est défini comme le taux d'actualisation qui annule la différence entre la VAN des flux de trésorerie futurs générés par un investissement et le coût initial de cet investissement. Le Taux de Rentabilité Interne est le taux d'actualisation (r) qui annule la Valeur Actuelle Nette.

Evaluation technico-économique de la géothermie profonde

Temps de retour sur investissement (PP)



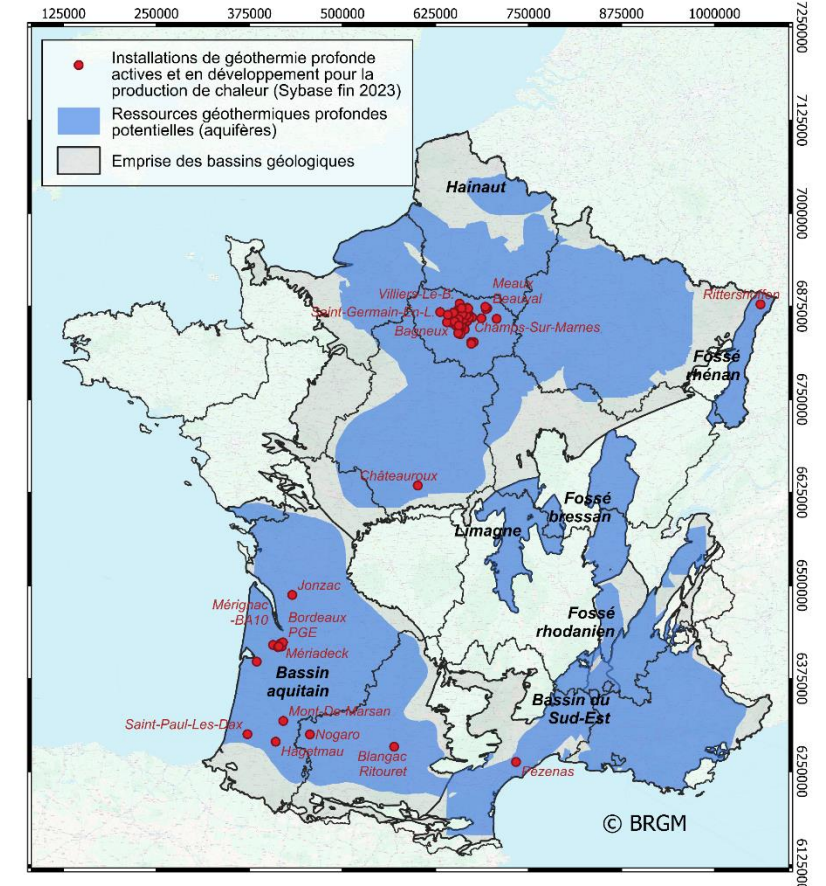
- PP entre 7 et 12 ans pour les projets de 12 et 9 MW
- PP entre 18 et 25 ans pour les projets de 6 MW
- PP entre 7 et 10 ans pour la biomasse

Prix de vente moyen national
Prix de vente par source d'énergie majoritaire
Taux d'EnR > 50%
Taux d'EnR < 50%
50% < Taux d'EnR < 75%
Prix de vente moyen CVL

**Le temps de retour sur investissement est un indicateur financier qui permet de mesurer le temps nécessaire pour récupérer le montant investi dans un projet*

Le Fonds de garantie géothermie

- Garantie « Court terme » :
 - Accompagnement possible des études de dérisking : **Indemnisation de 80%** (assiette entre 200k€ et 1M€) **en cas de conclusions négatives ou d'échec du forage** afin d'accompagner la réalisation d'acquisitions géophysiques
 - **90% de taux de garantie sur le doublet et sur toute la France métropolitaine**
 - Une assiette maximum de **3 M€ / km foré** avec un plafond d'assiette de **9 M€ par forage**
 - Typologie de projet: **chaleur** et **coproduction chaleur-lithium**
 - **Cotisation fonction du niveau de risque** (segment 1: 5%, segment 2: 10%, segment 3: 15%)
- Garantie « Long terme » (modalités en cours de validation) :
 - Durée de garantie initiale de **20 ans**, renouvelable sur **10 ans** suite à expertise



Le Fonds Chaleur

- Finance les projets de production de chaleur à partir d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) ainsi que les réseaux de chaleur liés à ces installations
- Aides à l'investissement soit sous la forme de forfait, soit par analyse économique pour les projets de plus grande envergure (**>12 GWh EnR&R/an**)
- Les montants des subventions (cumulés avec les potentiels certificats d'économies d'énergie) atteignent **en moyenne 30 à 35% (maximum de 45%) des investissements pour les opérations de géothermie profonde**
- Plafond d'aide de **20 €/MWhEnR&R/an sur 20 ans** incluant aide à la production et aide au réseau de distribution (14 €/MWhEnR&R/an sur 20 ans en cas d'extension)



Evaluation environnementale de la géothermie profonde

- ***Objectif*** : évaluer les impacts environnementaux (effets direct et indirects) de la géothermie profonde sur la durée de vie du projet > analyse de cycle de vie (ACV)
- ***Indicateurs utilisés*** :
 - Impacts environnementaux par phase d'un projet (chantier, exploitation, fin de vie)
> Analyse par composantes principales (ACP)
 - Émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie
- ***Principales sources de données utilisées*** :
 - Dossiers d'étude environnementale d'un projet de géothermie profonde dans le Bassin parisien (AR-AENV)
 - ACV de la chaîne gazière en France (ICare, Elengy, GRDF, GRTgaz, Storengy, & Teréga, 2022)
 - ADEME, Agence Internationale de l'Energie (AIE)

Evaluation environnementale de la géothermie profonde

• Méthodologie de l'ACP :

- Méthode d'analyse statistique qui permet de réduire le nombre de variables initiales
- Transforme un ensemble de variables corrélées en un nouvel ensemble de variables non corrélées appelées **composantes principales**
- Synthétise l'information pour faciliter la visualisation et l'interprétation

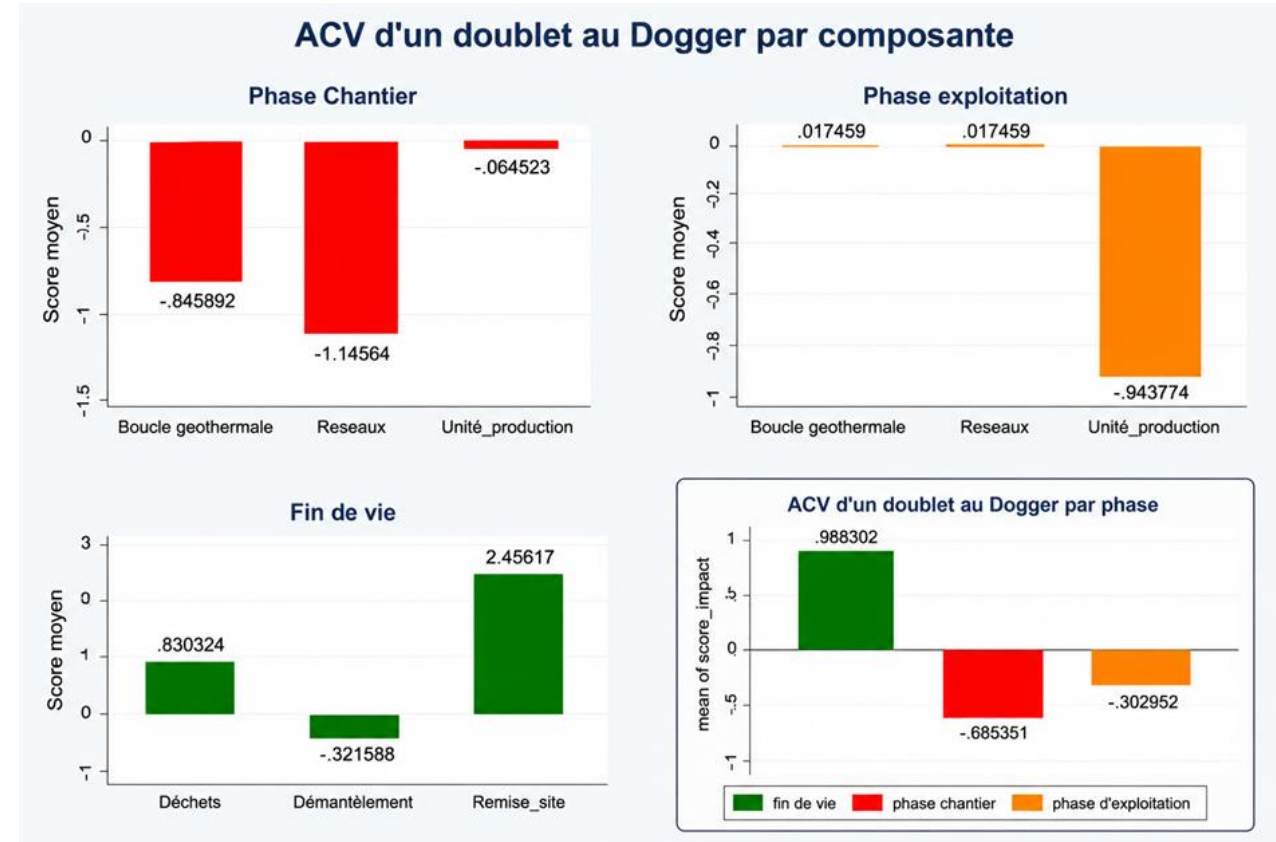
• Application à la géothermie profonde :

- 14 impacts environnementaux recensés et codés suivant le formalisme ci-dessous:
 - Aucun ou négligeable = 0, négatif=-1, positif=1
- Construction d'une matrice d'impact environnemental
- Application sous l'outil STATA pour:
 - Calculer le score moyen d'impact environnemental par composante et phase d'un projet
 - Evaluer le score global par phase

Phase	Composante	Urbanisme	Trafic	Impact visuel	Bruit	Air	Déchets	Risques naturels	Risque technologique	Patrimoine	Faune et Flore et zones naturelles	Sol	Santé et sécurité	Climat et énergie	Eau
Phase chantier	Boucle géothermale	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unité de production	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Travaux sur le réseau	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase d'exploitation	Boucle géothermale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Unité de production	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
	Travaux sur le réseau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Fin de vie	Démantèlement des installations (pompes, tuyaux, échangeurs)	0	-1	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	-1	1	0
	Remise en état du site	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
	Gestion des déchets (recyclage ou mise en décharge des matériaux)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1

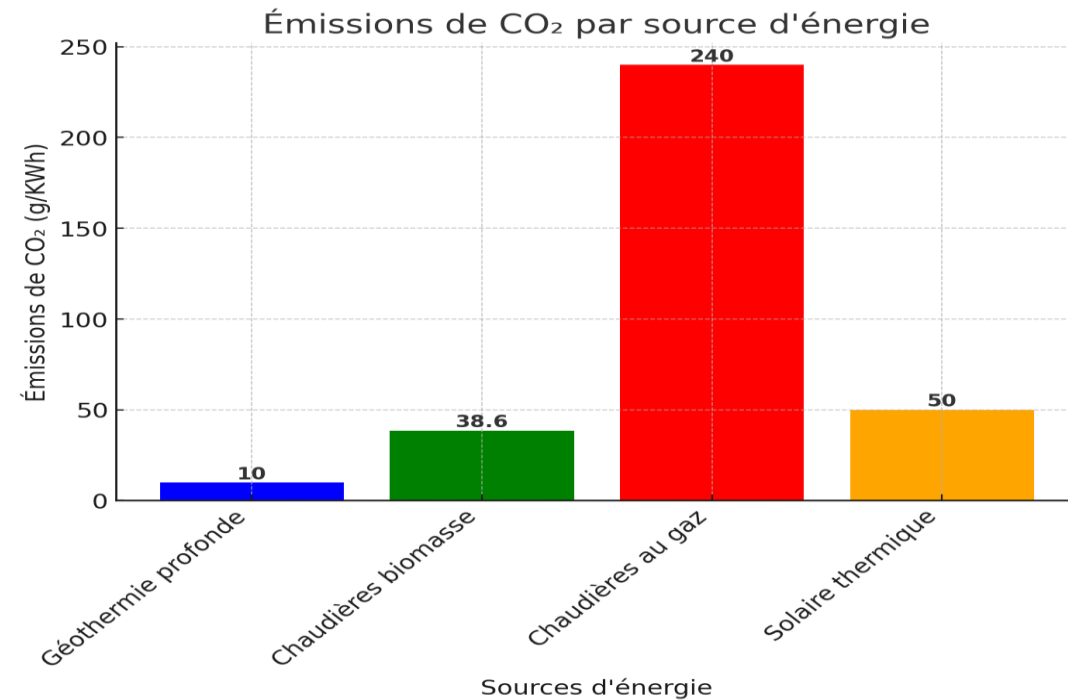
Evaluation environnementale de la géothermie profonde

- **Score moyen d'impact environnemental par composante**
 - **En phase de chantier:** les travaux sur le réseau et boucle géothermale présentent un score moyen le plus significatif > travaux de forage, infrastructures
 - **En phase d'exploitation:** l'unité de production présente le score d'impact le plus significatif > consommations énergétiques, émissions
 - **En fin de vie:** les travaux de démantèlement présentent un impact légèrement négatif mais avec globalement des impacts plutôt positifs liées à la remise en état du site
- **Synthèse par phase:**



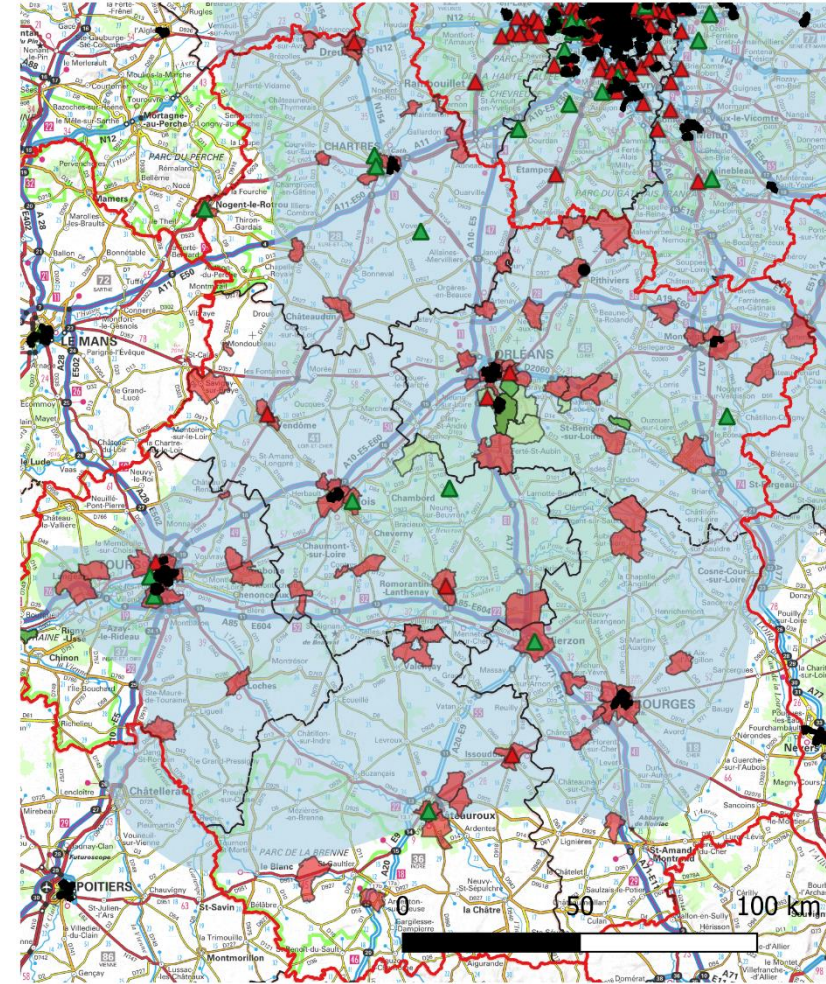
Émissions de CO₂ sur l'ensemble cycle de vie : géothermie profonde vs autres sources d'énergie

- Un taux d'émission (gCO₂/kWh) qui place la géothermie profonde comme une des sources d'énergie renouvelable les plus performantes
- Les émissions proviennent principalement des matériaux (tubages acier), machine de forage (diesel)
- Réduction de l'empreinte possible **avec un rig électrique, une valorisation maximisée de la géothermie et l'utilisation d'autres matériaux (tubages en composite)**



Les besoins de chaleur

- La région Centre-Val de Loire compte **une quinzaine de réseaux de chaleur de plus de 20 GWh** localisés dans les principales métropoles à Orléans, Chartres, Blois, Tours, Bourges, Pithiviers et Montargis ainsi **qu'un potentiel de création de nouveaux réseaux ou densification important** (Orléans, Chartres, Vendôme, Romorantin-Lanthenay, Issoudun, Tours, Dreux)
- En plus de ces réseaux de chaleur, qui visent principalement à assurer le chauffage de bâtiments, **les besoins pour l'industrie sont également importants (de l'ordre de 7606 GWh/an) pour les process et chauffage des locaux**
- De surcroît, la région se classe **en 3ème position au niveau national, après la Bretagne et la Nouvelle-Aquitaine**, pour les surfaces de cultures horticoles sous serres chauffées (**de l'ordre de 74 ha**) avec une forte concentration dans le Loiret (**60 ha de serres**)



Noir : tracé des réseaux de chaleur de plus de 20 GWh/an (source : CEREMA)

Triangles rouges : réseaux de chaleur à créer de plus de 20 GWh/an (source : Manergy)

Triangles verts : réseaux de chaleur à verdir ($\text{kgCO}_2/\text{kWh} > 0,12$) (source : arrêté DPE 2021)

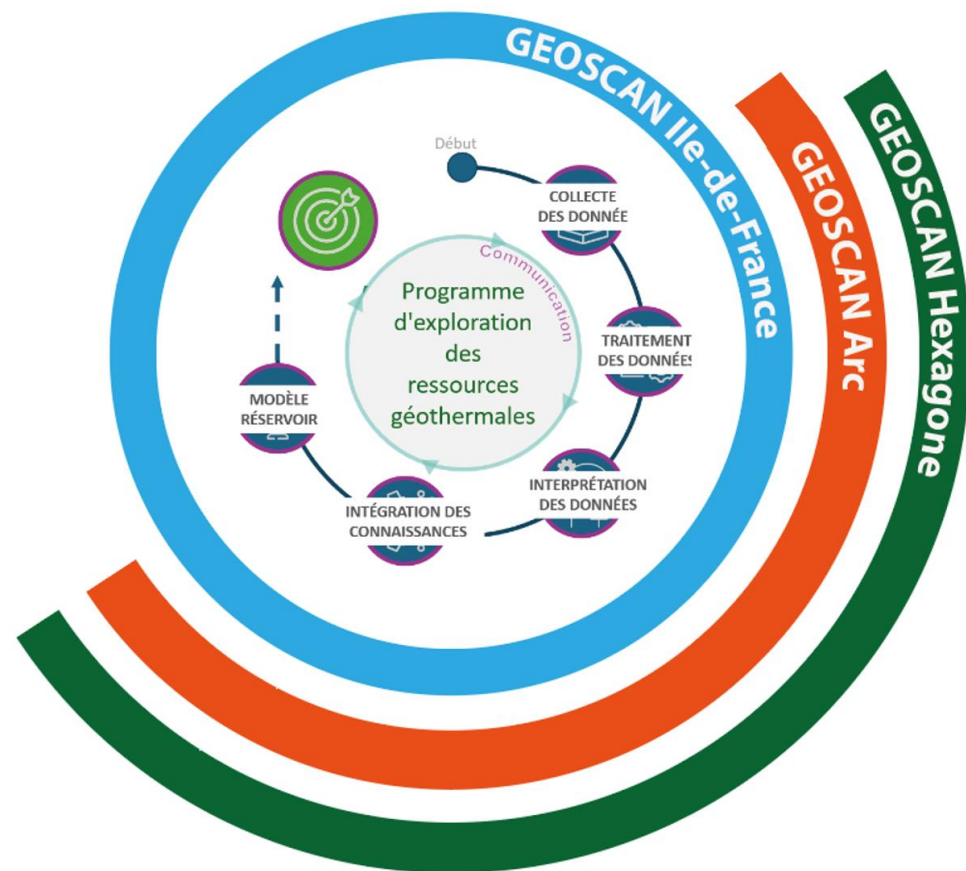
Communes en rouge ; besoins industriels de plus de 20 GWh/an pour la production de chaleur (source : CEREMA)

Communes en vert : présence de serres horticoles chauffées (vert foncé : surface supérieure à 10 ha) (source : Légumes de France).

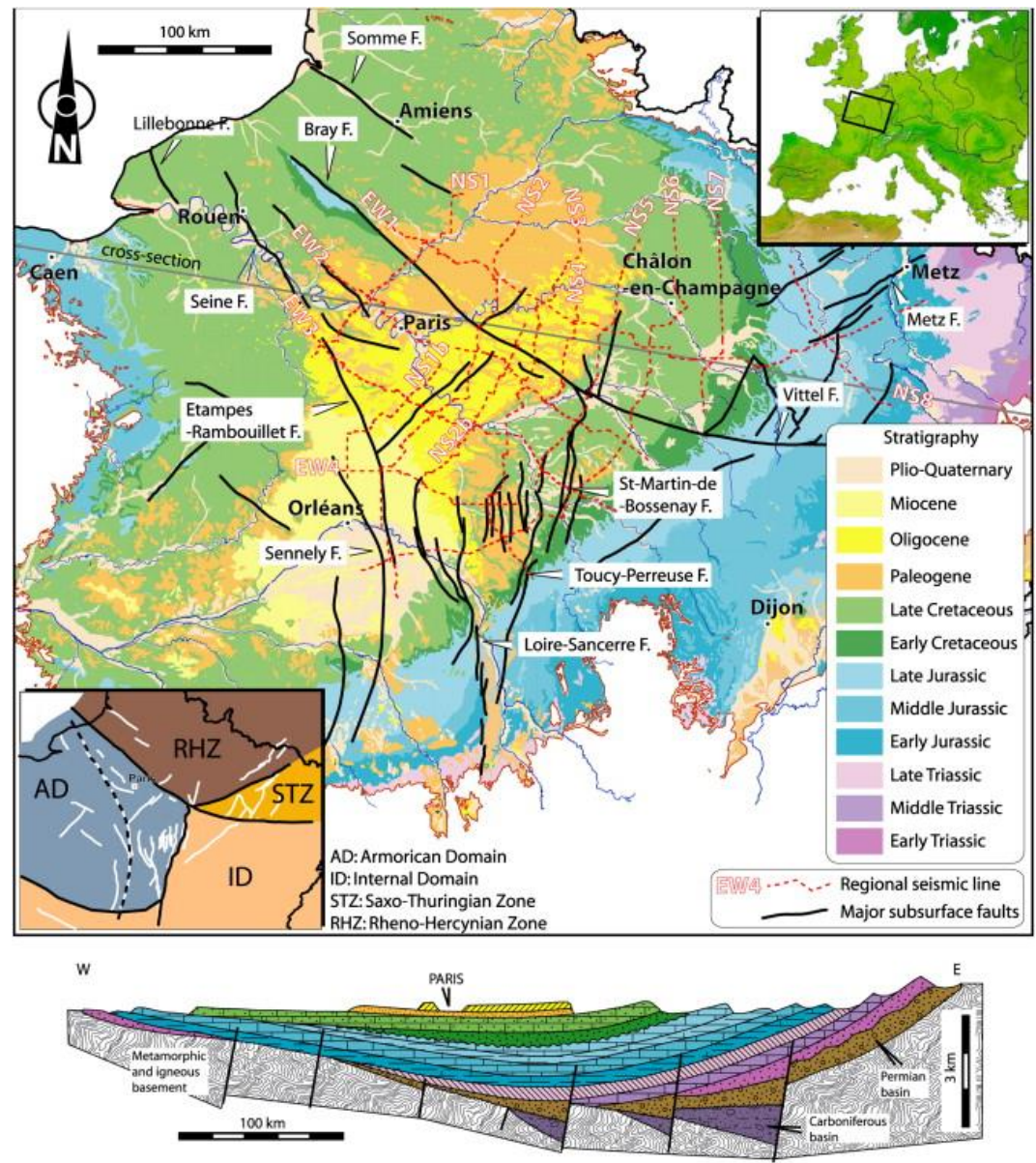
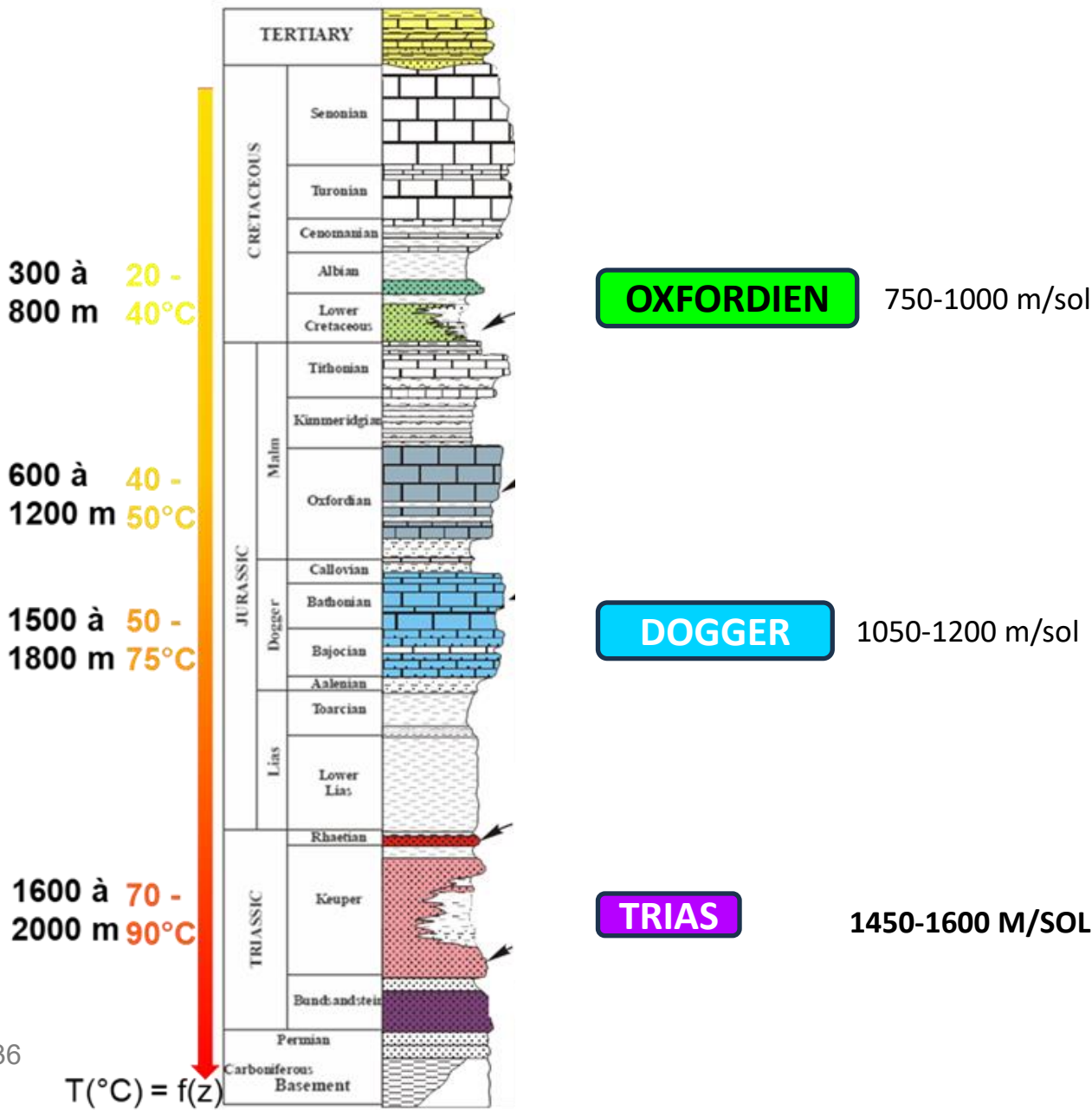
***Les apports du projet « Geoscan Hexagone »
pour l'évaluation de la ressource géothermale***

Evaluation de la ressource géothermale: Géoscan Hexagone

- Etude financée par la DGEC qui a pour objectif **d'améliorer la connaissance du sous-sol dans des secteurs où la géothermie profonde est encore peu ou pas développée**
- **1^{ière} application dans le Loiret et la région Centre-Val de Loire entre 2024-2026**
- **Méthodologie adoptée :**
 - **Echelle de travail régionale** qui vise à synthétiser et valoriser les données existantes (puits, sismiques) pour déterminer les zones les plus favorables à priori en termes de ressources géothermales
 - Analyse basée **sur le traitement de données de puits (hydrocarbures, stockage de gaz, géothermie) et le retraitement de lignes sismiques anciennes** pour préciser la géométrie des réservoirs, leur structure, les faciès réservoir et leurs propriétés pétrophysiques suivant la qualité des données disponibles
 - Production d'un **modèle 3D des réservoirs analysés (Oxfordien, Dogger et Trias supérieur) et cartographies 2D des aquifères** (profondeur des toits et murs, épaisseur totale/favorable, température, favorabilité géologique)
 - Diffusion de l'ensemble des résultats pour sur le site geothermies (<https://www.geothermies.fr/geoscan-hexagone>)

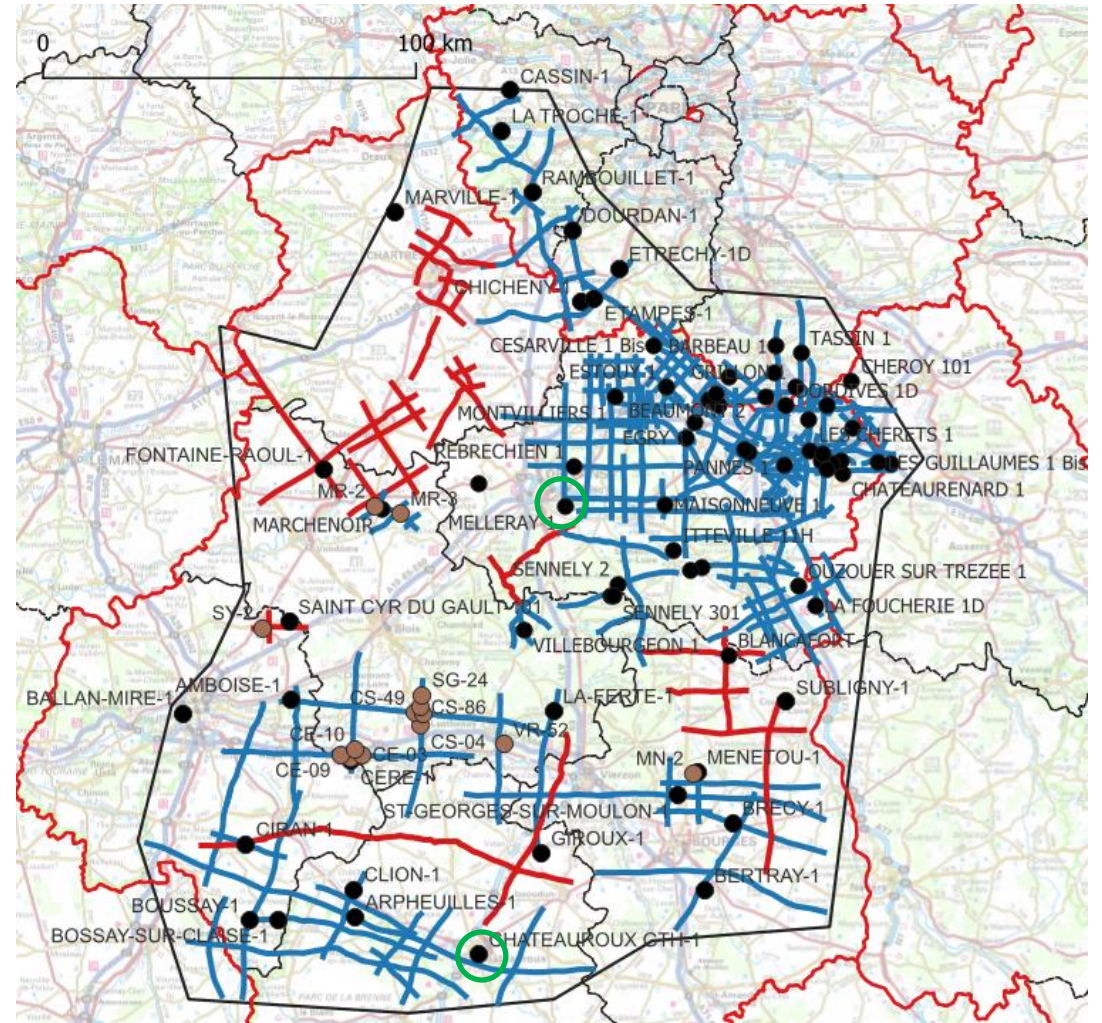


Evaluation de la ressource géothermale – Zone d'étude



Evaluation de la ressource géothermale – Données utilisées

- Les données valorisées/analysées en région CVL :
 - **88 forages profonds dont les diagaphies ont été valorisées** (GR, DT, NPHI, RHOB...) dont 71 forages d'hydrocarbures, 2 puits géothermiques et 15 puits de stockage de gaz
 - **4285 de lignes sismiques retraitées** (dont 1982 km dans le Loiret) dans le cadre du projet (bleu: lignes post-1970, rouge: lignes ante-1970)
 - **Des interprétations pétrophysiques (= propriétés des réservoirs) sur une vingtaine de puits et de l'ordre de 900 km d'inversion sismique réalisées** (relations entre les impédances acoustiques et propriétés des réservoirs telles que la porosité)

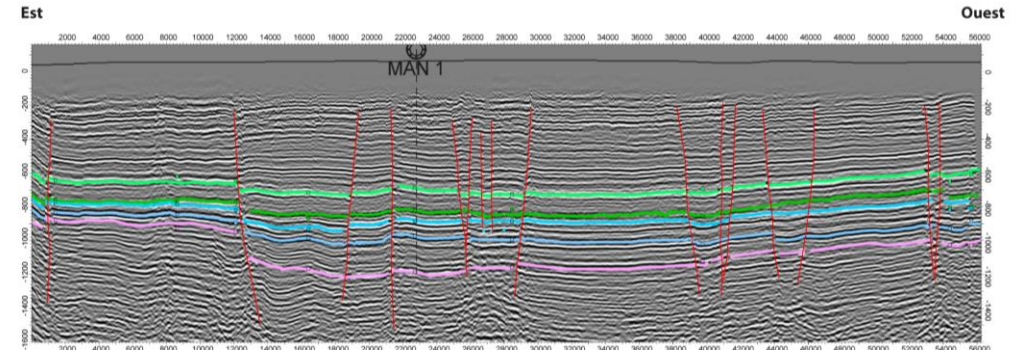


**Retraitement de données issues de l'exploration pétrolière
=> Pas de nouvelles acquisitions**

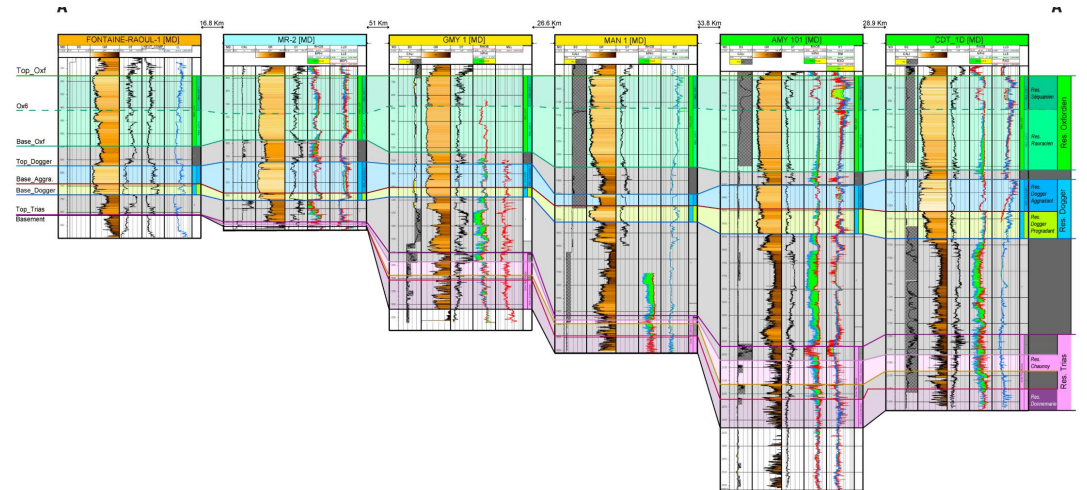
Evaluation de la ressource géothermale



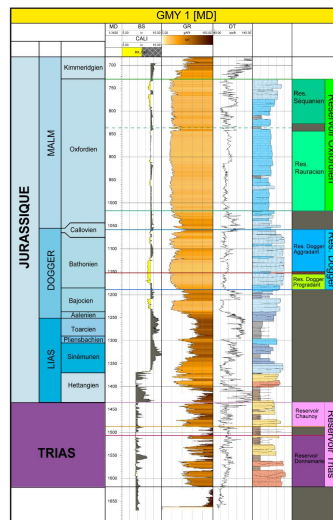
Echelle sismique =>
Comprendre la géométrie du
réservoir



Corrélation de puits =>
Comprendre la variation
latérale du réservoir



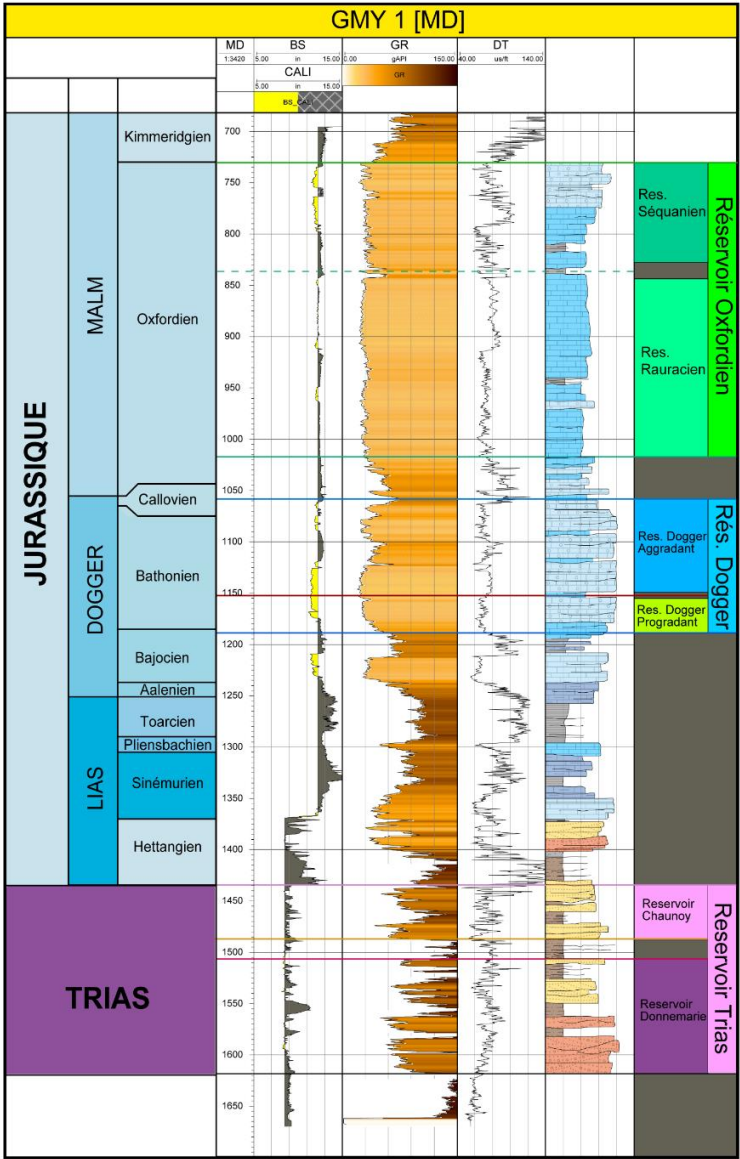
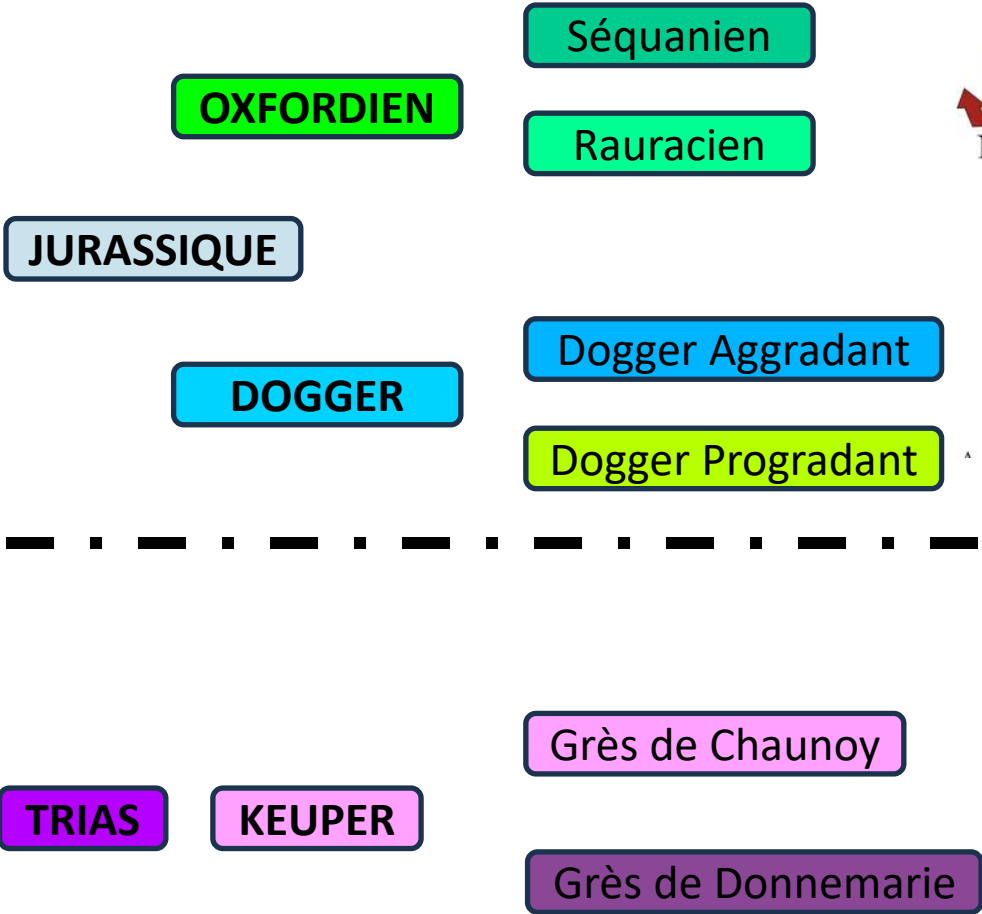
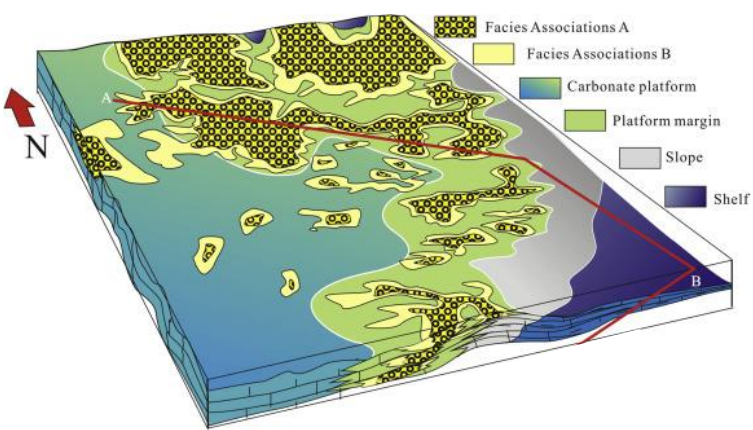
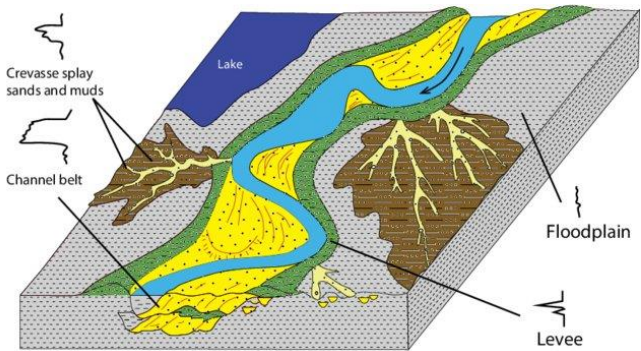
Echelle du puits =>
Comprendre ce qui caractérise les
réservoirs



Evaluation de la ressource géothermale

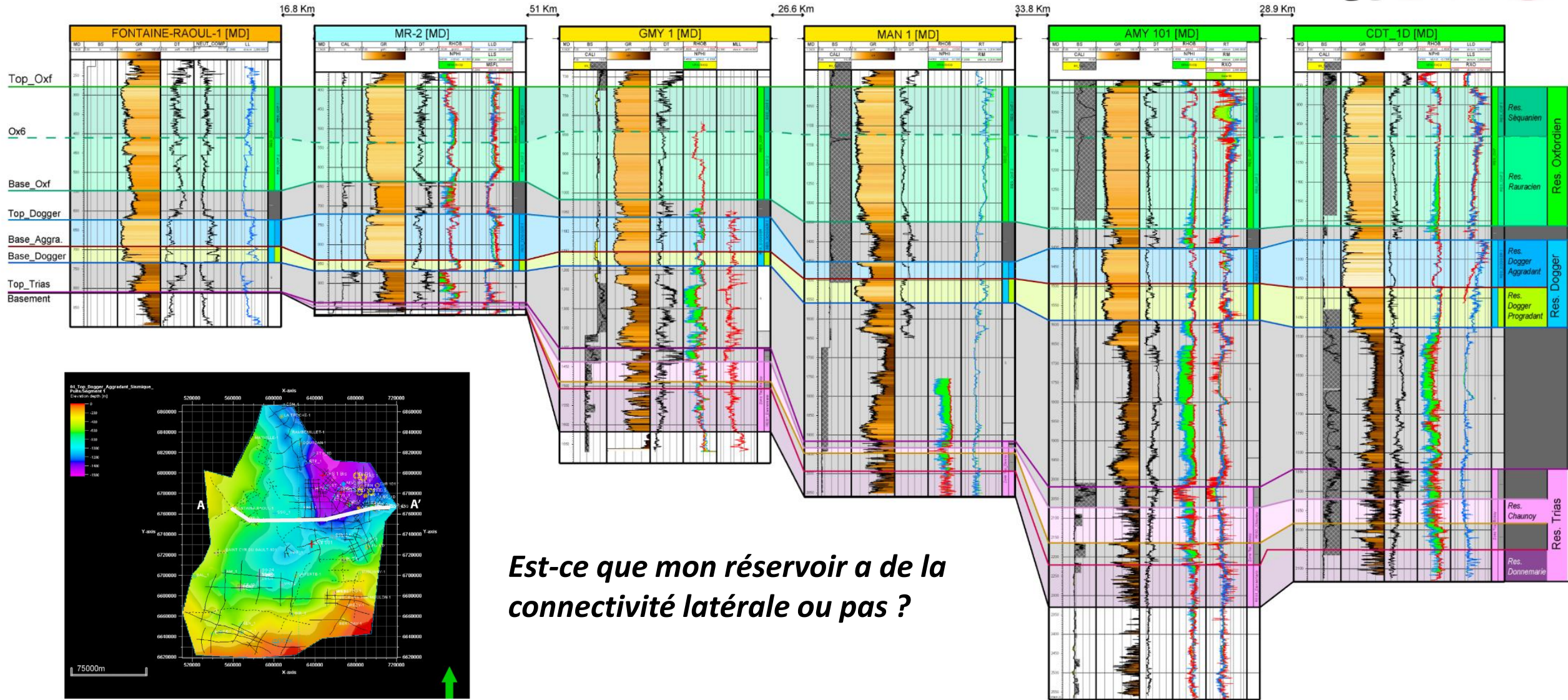


Echelle du puits => Comprendre ce qui caractérise les réservoirs



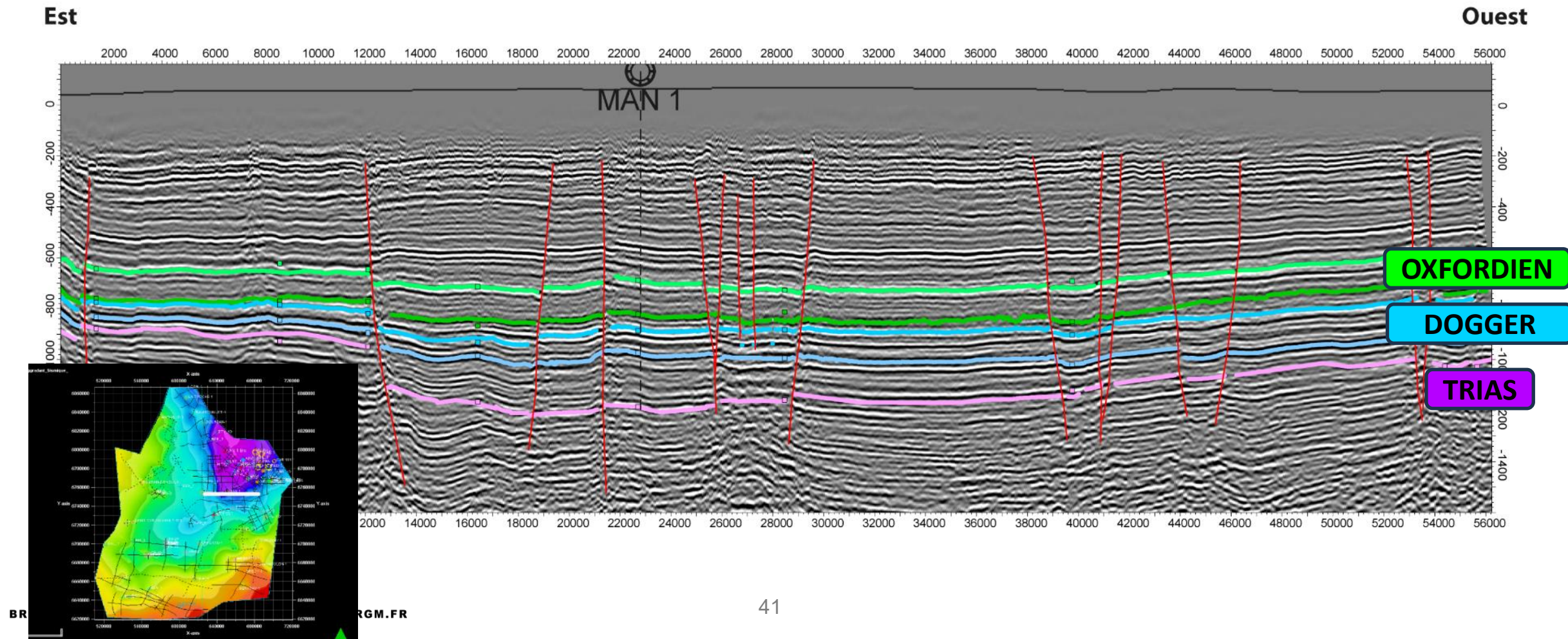
Evaluation de la ressource géothermique

Corrélation de puits => Comprendre la variation latérale du réservoir



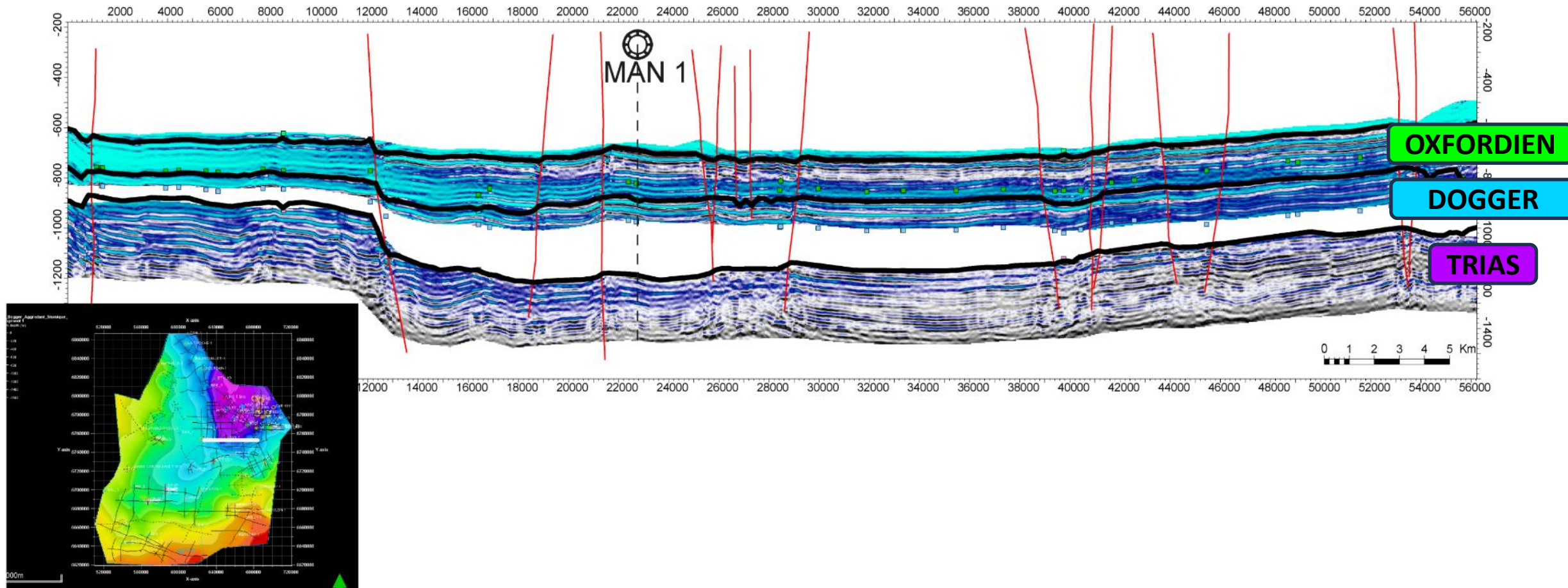
Evaluation de la ressource géothermale

Echelle sismique => *Comprendre la géométrie du réservoir et les variations latérales de la porosité*



Evaluation de la ressource géothermale

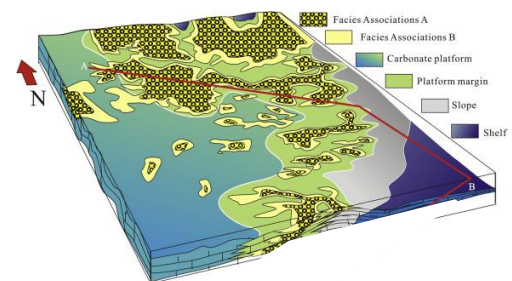
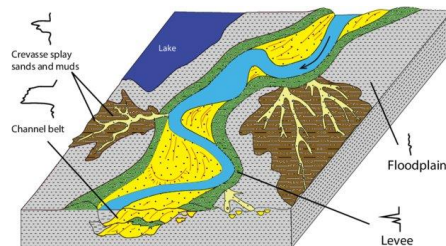
Echelle sismique => *Comprendre la géométrie du réservoir et les variations latérales de la porosité*



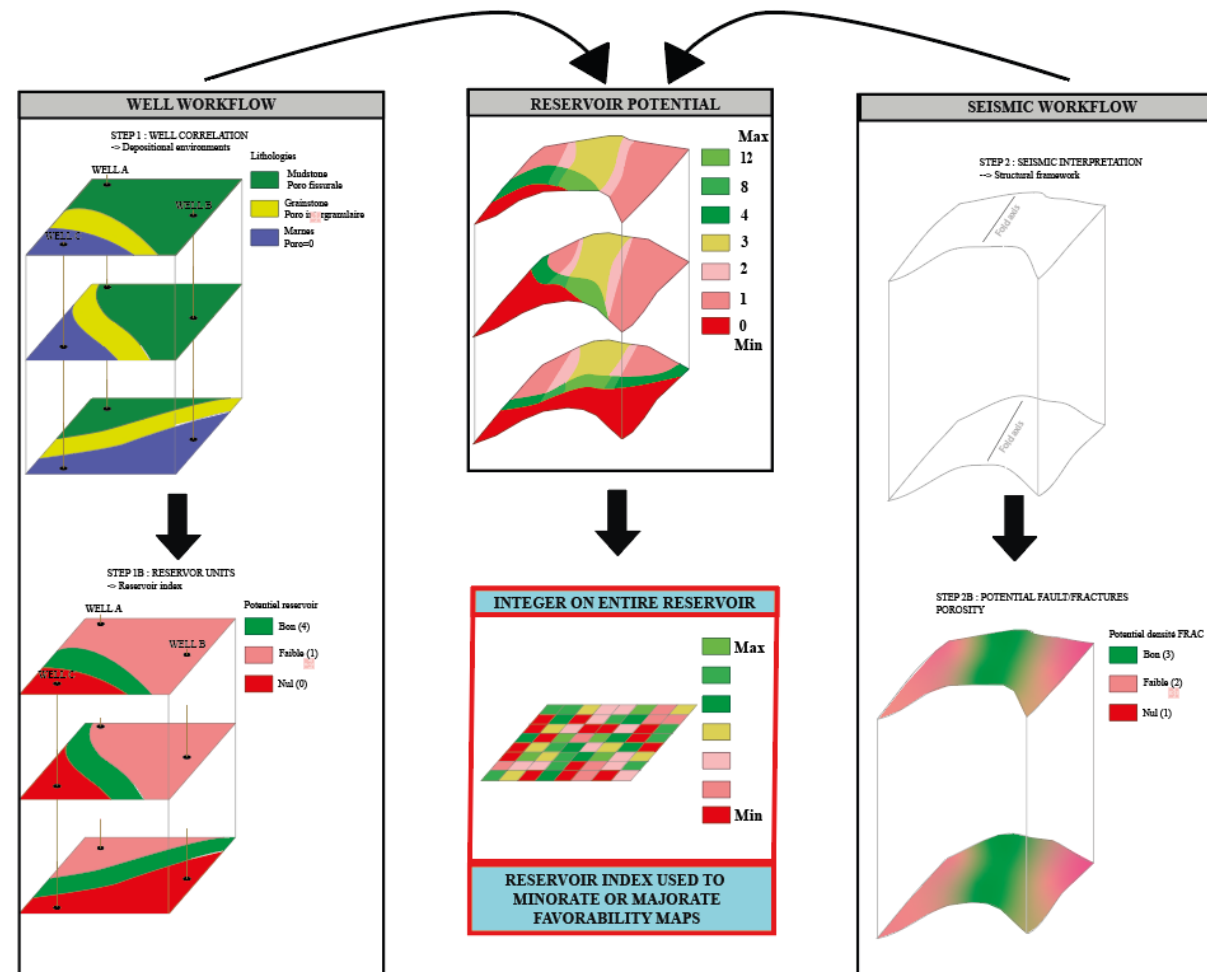
Evaluation de la ressource géothermale

- **Méthodologie pour évaluer le potentiel réservoir**

1. **Elaboration d'un modèle 3D Pétrel (Géométrie des réservoirs + failles)**
2. **Simulation en environnements de dépôts par modélisation stochastique (x100)**

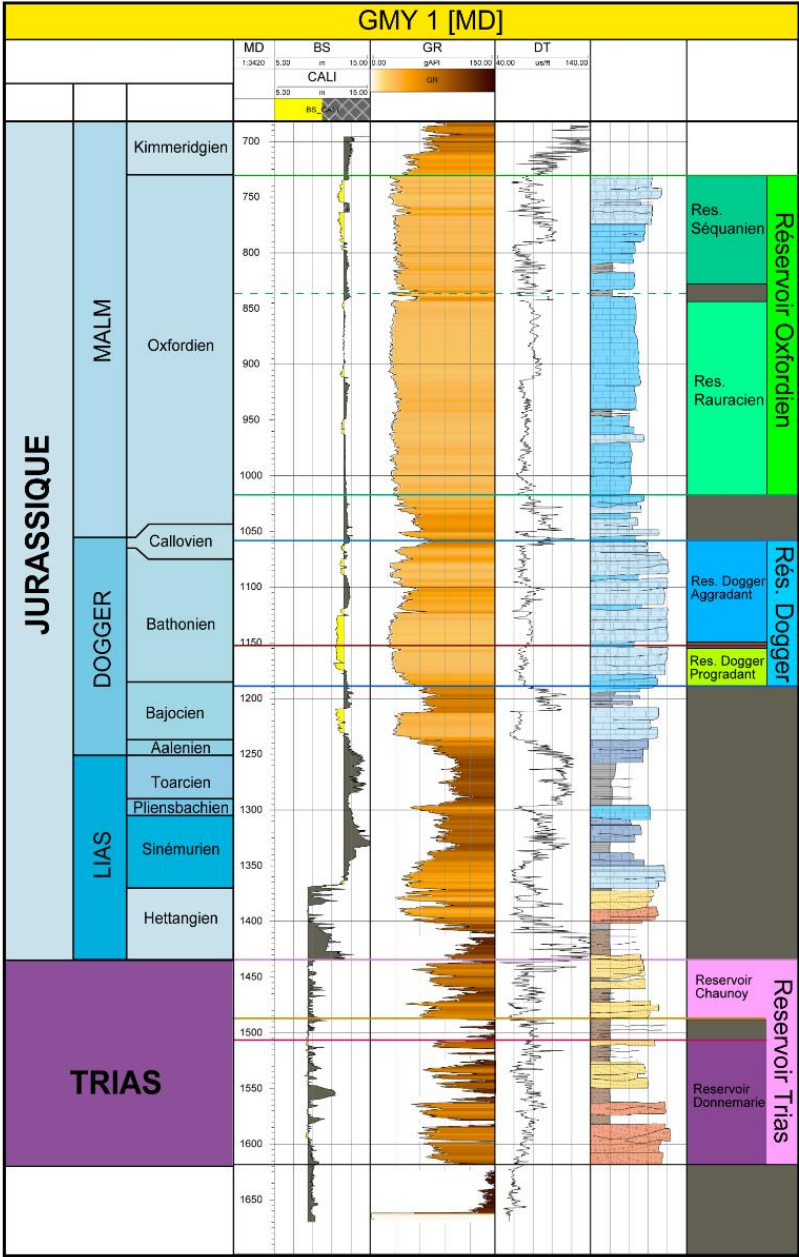


3. **Production de carte de favorabilité par réservoir**

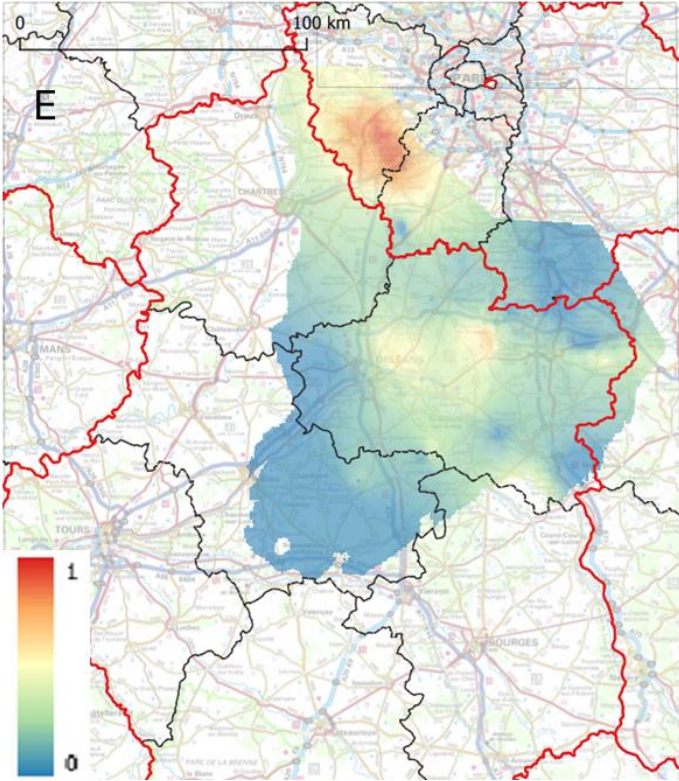


Favorabilité = probabilité d'intercepter sur toute la hauteur du réservoir un environnement de dépôts ayant des qualités de réservoir ET/OU si cet intervalle est fracturé

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité



OXFORDIEN

Rauracien

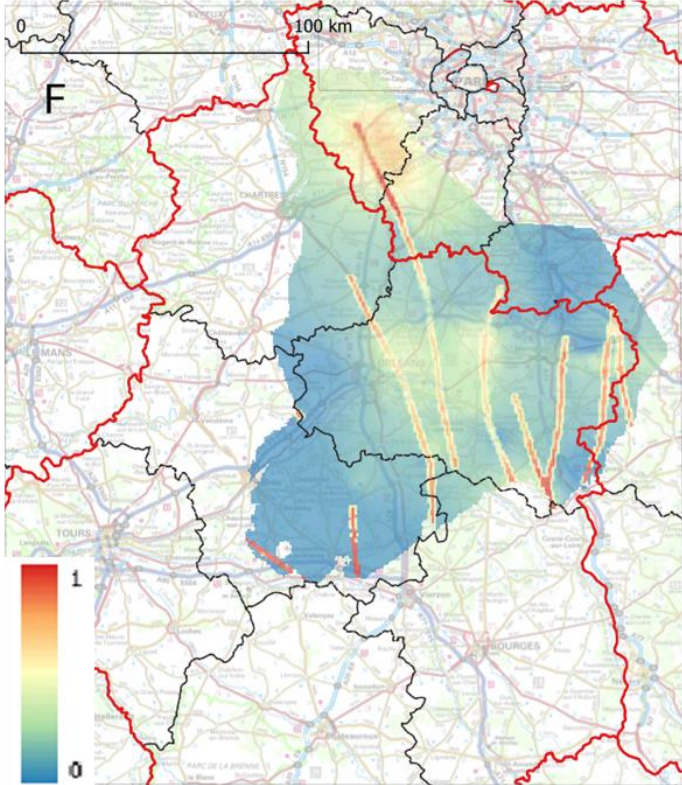
Profondeur 500 - 1350m

Température 37-63°C

Epaisseur 50 – 260m

Ep. Favorable 0- 105m

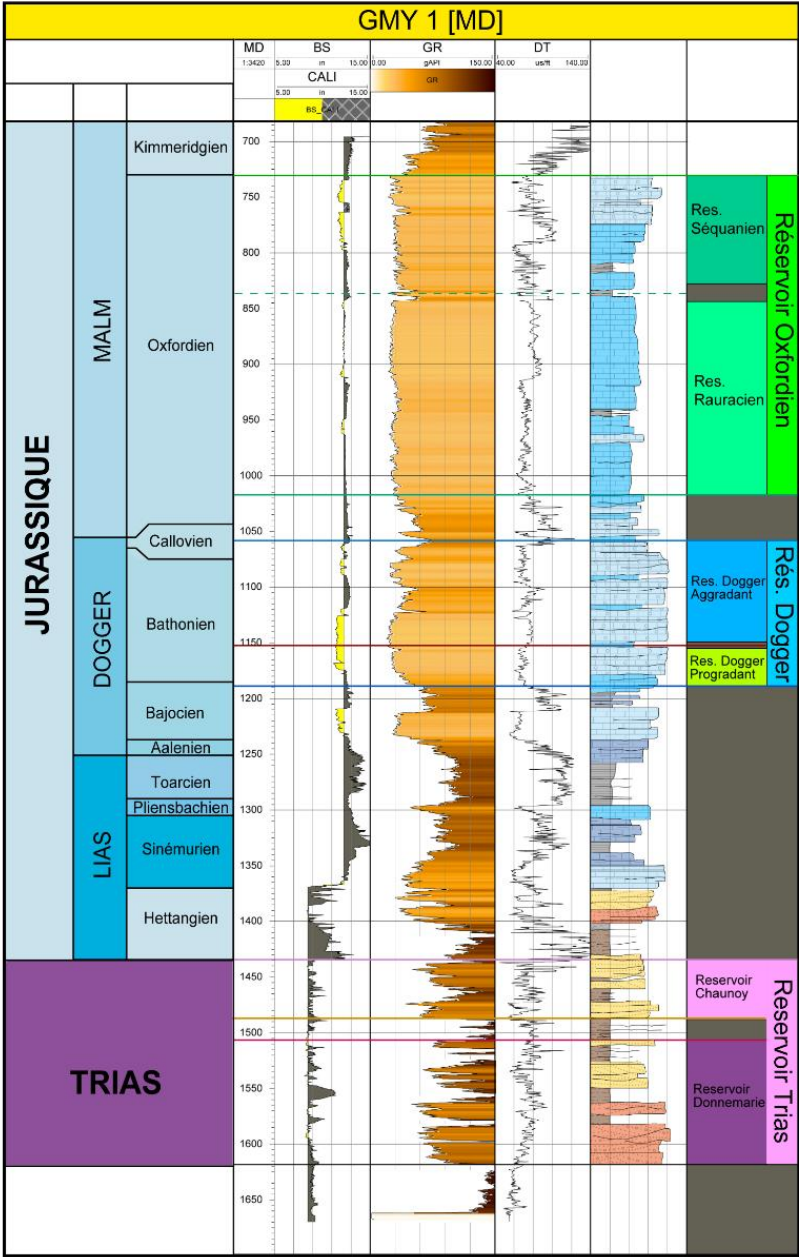
Favorabilité avec ZE



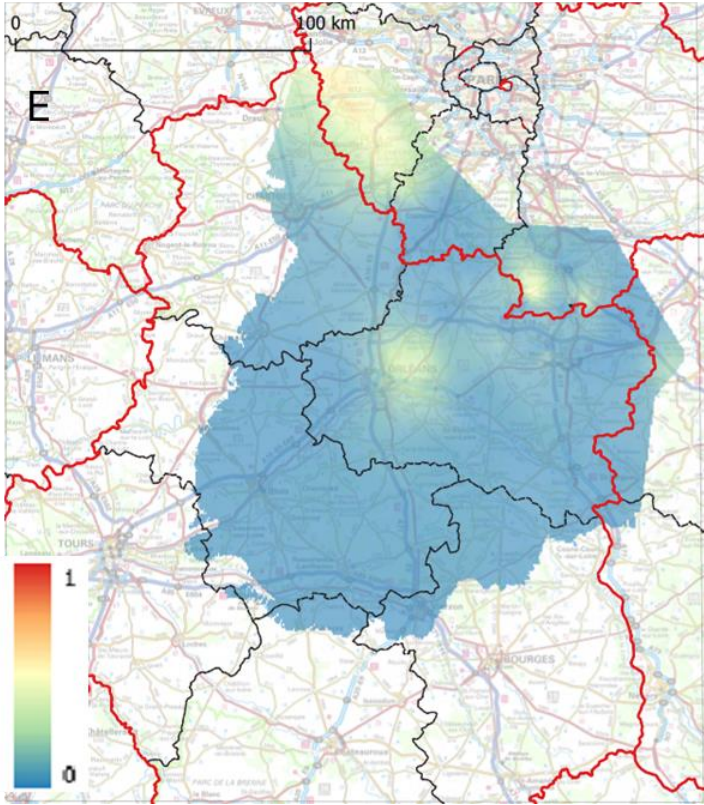
1- Bonne favorabilité au Nord de la région
(Environnement Oolithique)

2- Bonne favorabilité le long des zones de
failles

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité



OXFORDIEN

Séquanien

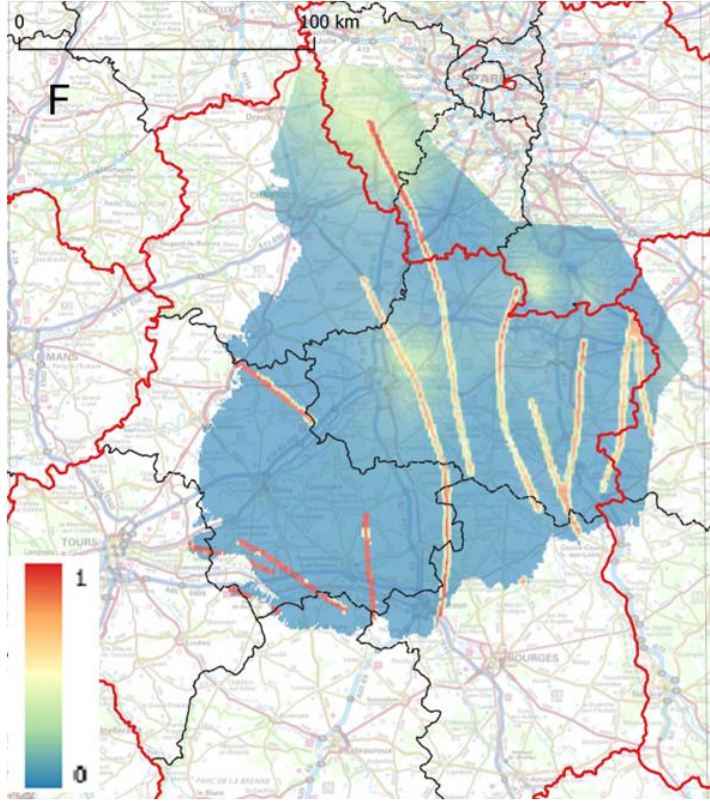
Profondeur 500 - 1430m

Température 37-66°C

Epaisseur 40 – 270m

Ep. Favorable 0- 105m

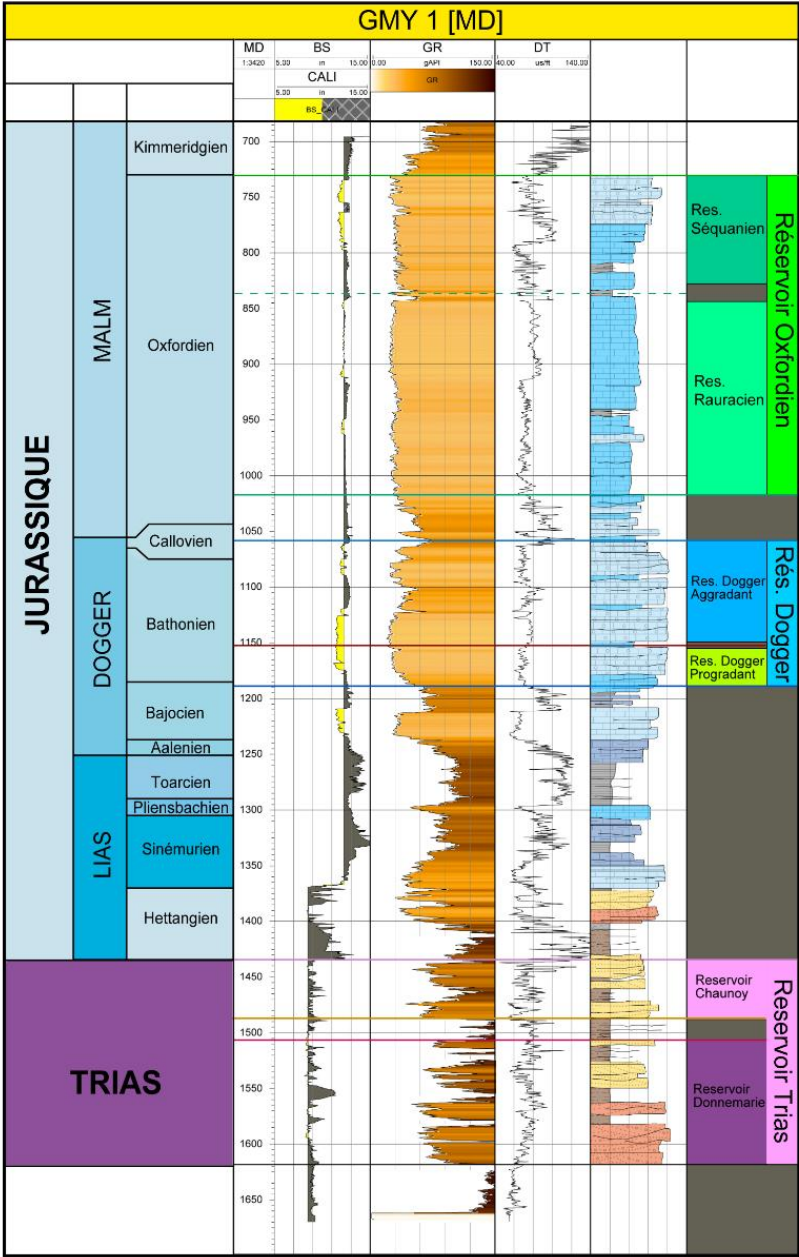
Favorabilité avec ZE



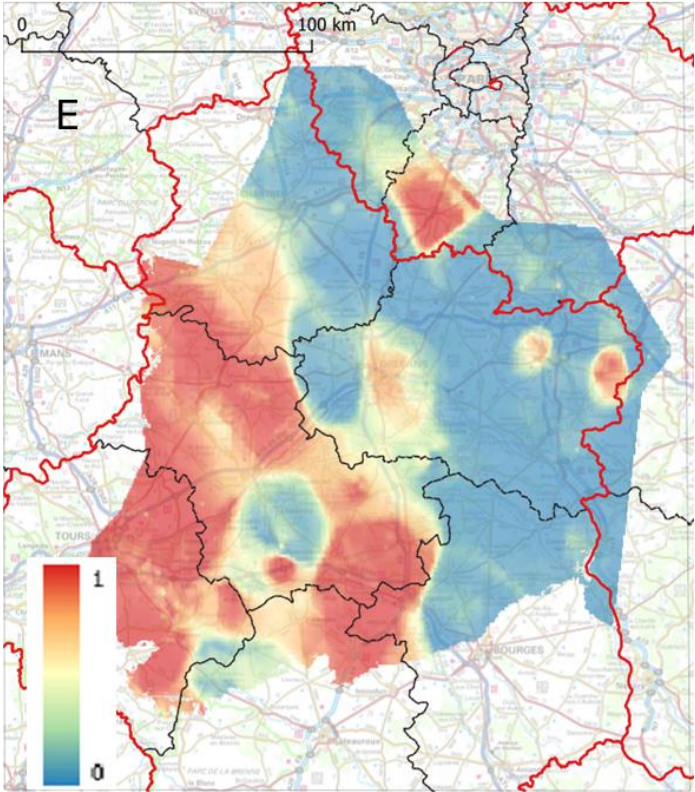
1- Faible favorabilité de l'intervalle sur l'ensemble de la région

2- Potentiel le long des failles avec fortes incertitudes

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité

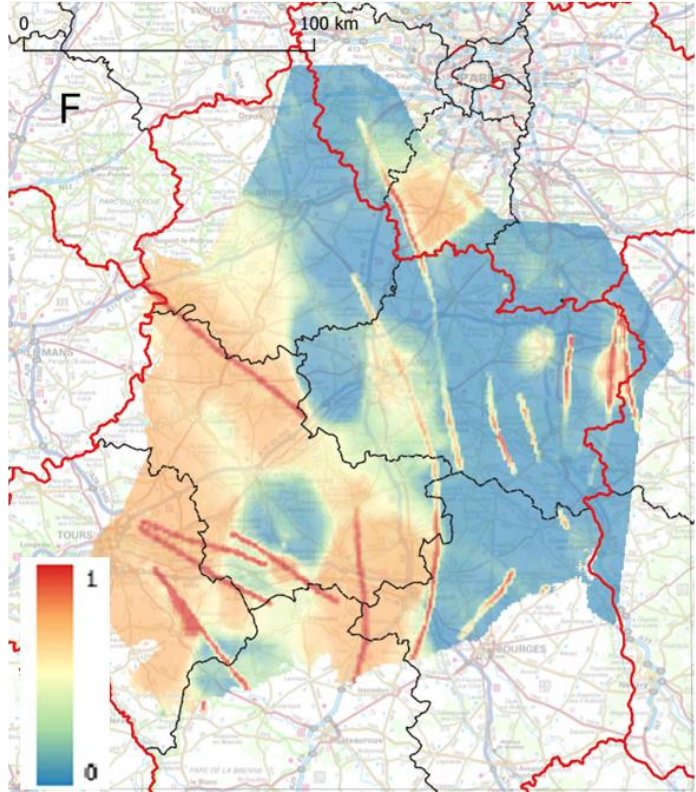


DOGGER

Dogger Aggradant

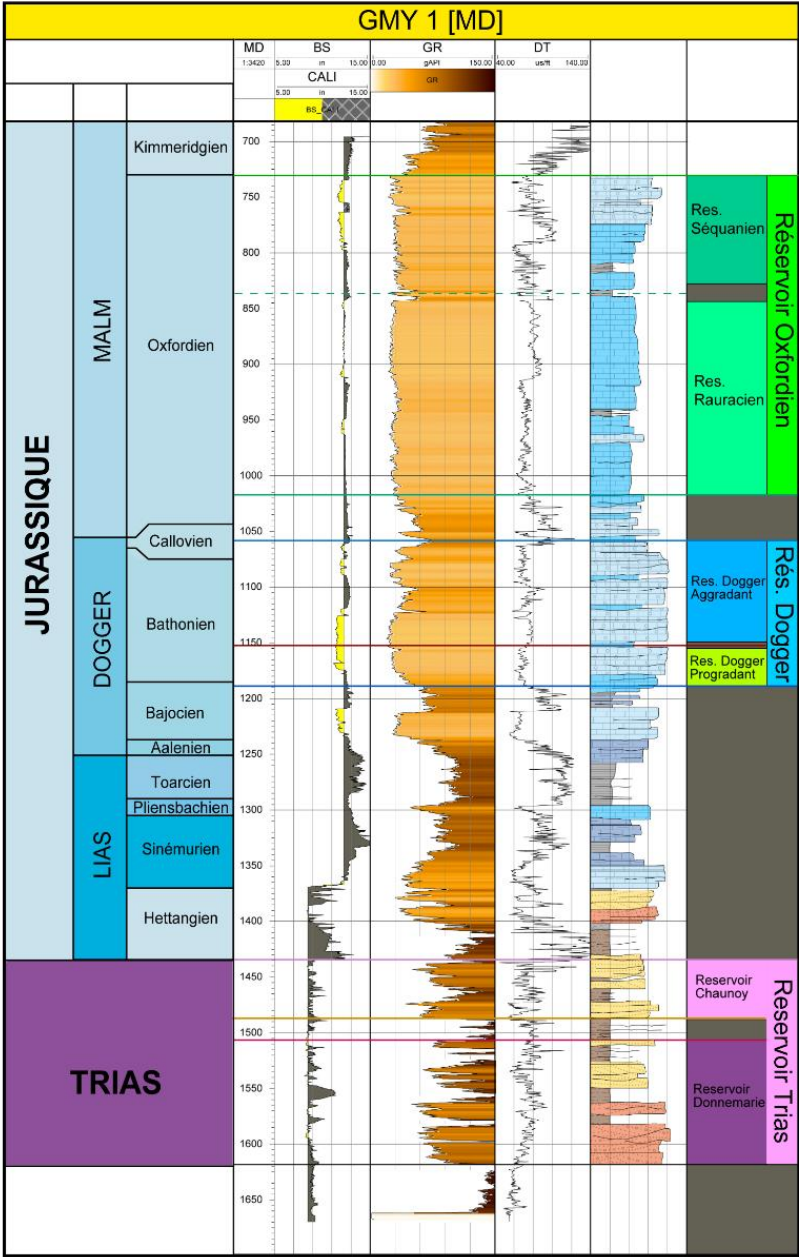
Profondeur	500 - 1775m
Température	37-76°C
Epaisseur	0 – 170m
Ep. Favorable	0- 120m

Favorabilité avec ZE

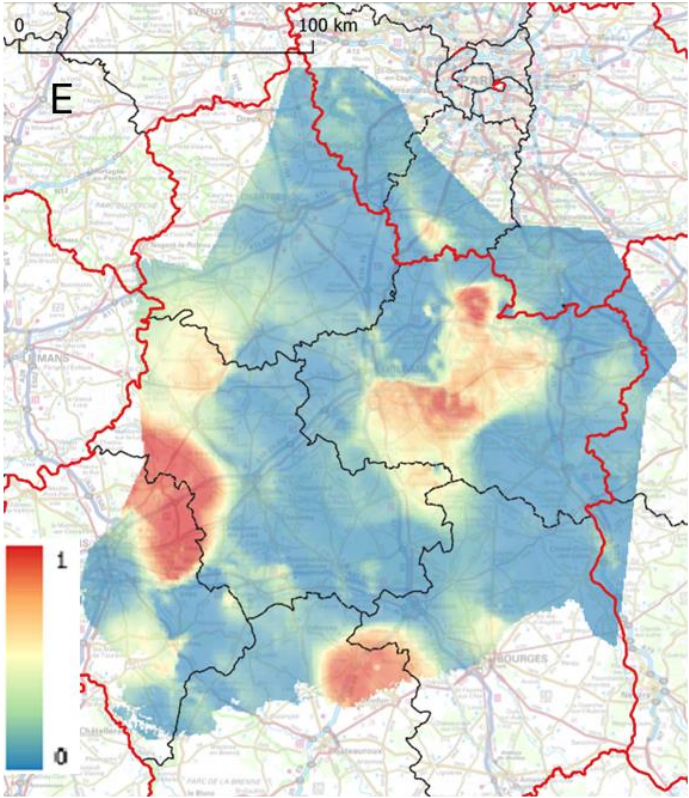


- 1- Bonne favorabilité dans la partie Ouest de la région, décuplée par la présence des failles
- 2- Fort impact du Sillon Marneux

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité



DOGGER

Dogger Progradant

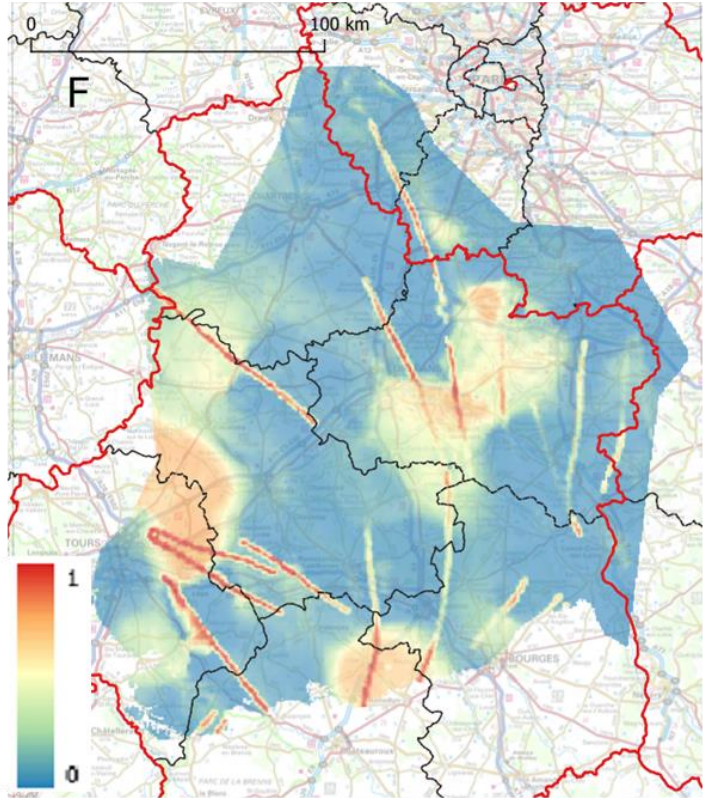
Profondeur 500 - 1875m

Température 37-79°C

Epaisseur 0 – 165m

Ep. Favorable 0- 100m

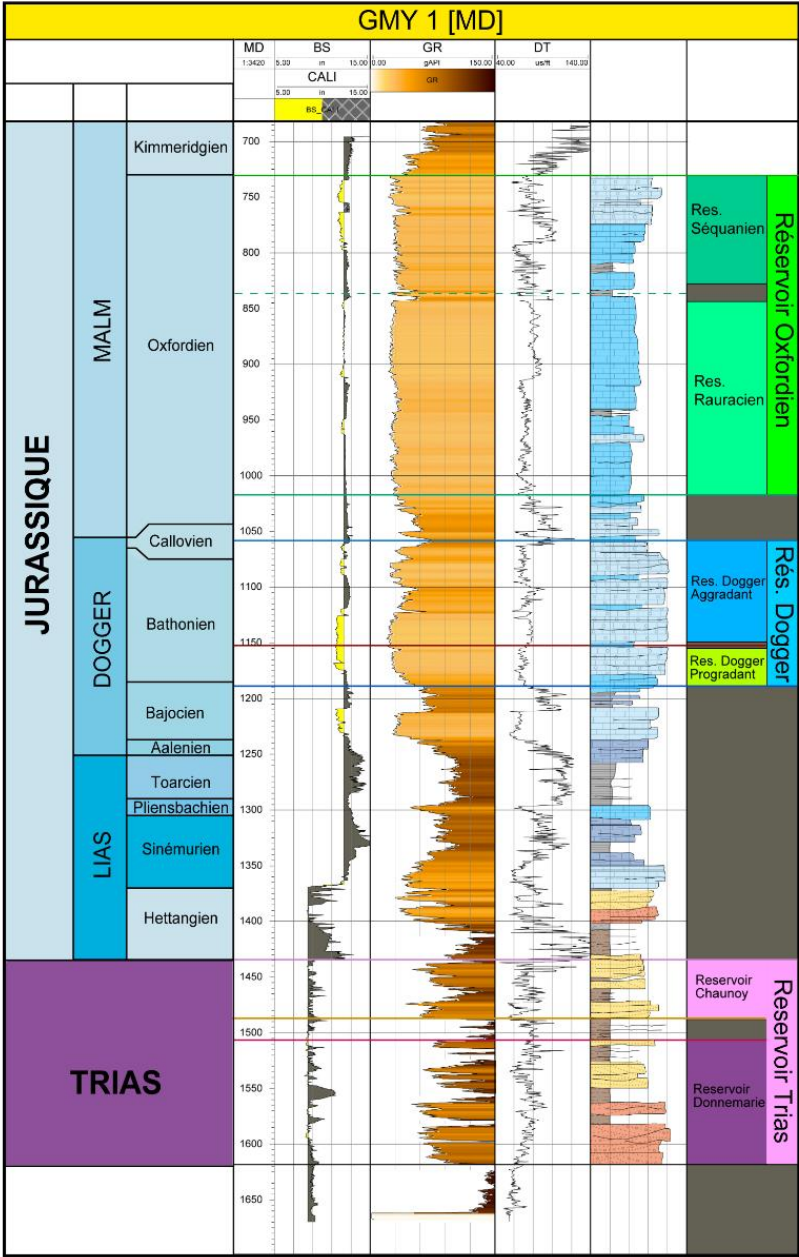
Favorabilité avec ZE



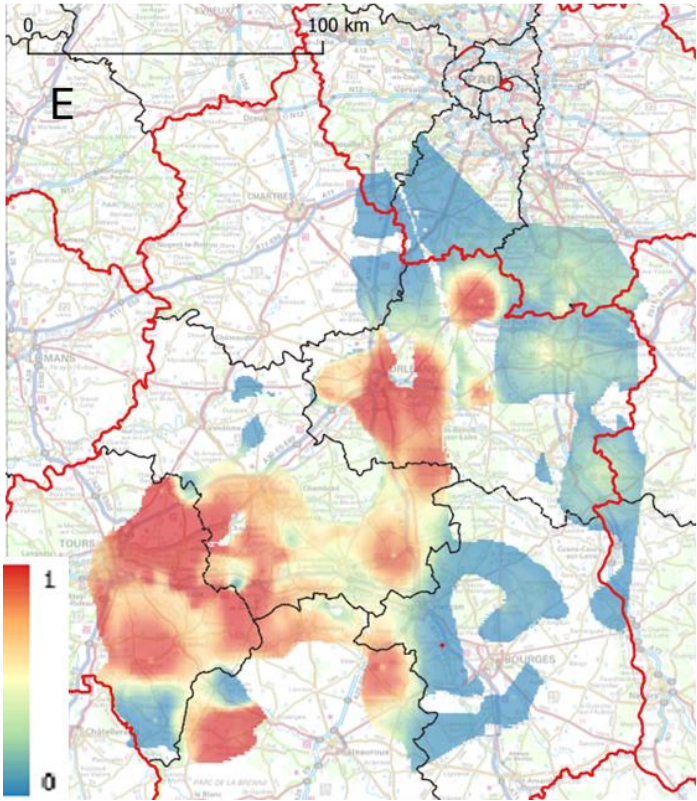
1- Favorabilité disparate dans la région avec potentiel au centre et à l'Ouest de la région

2- Forte incertitude associée

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité

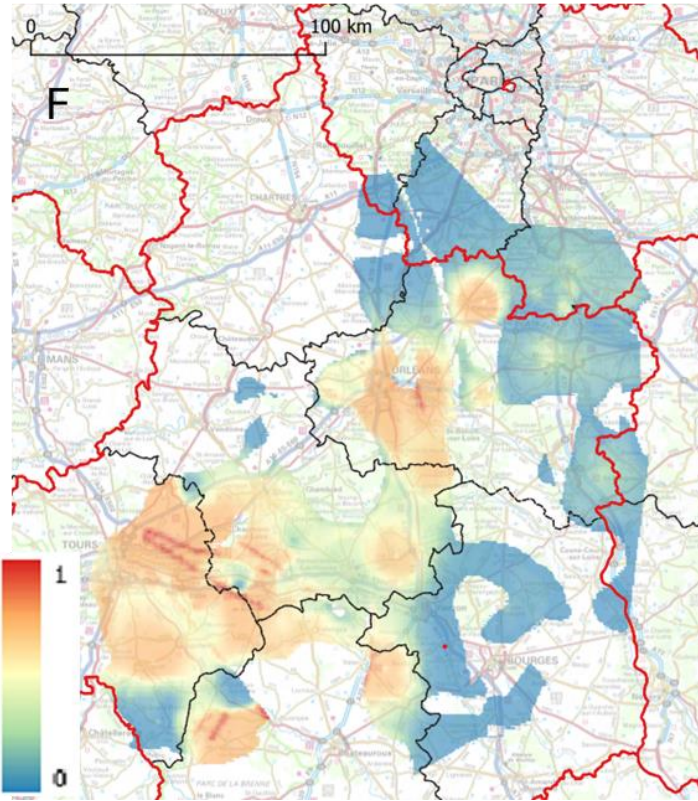


TRIAS

Grès de Chaunoy

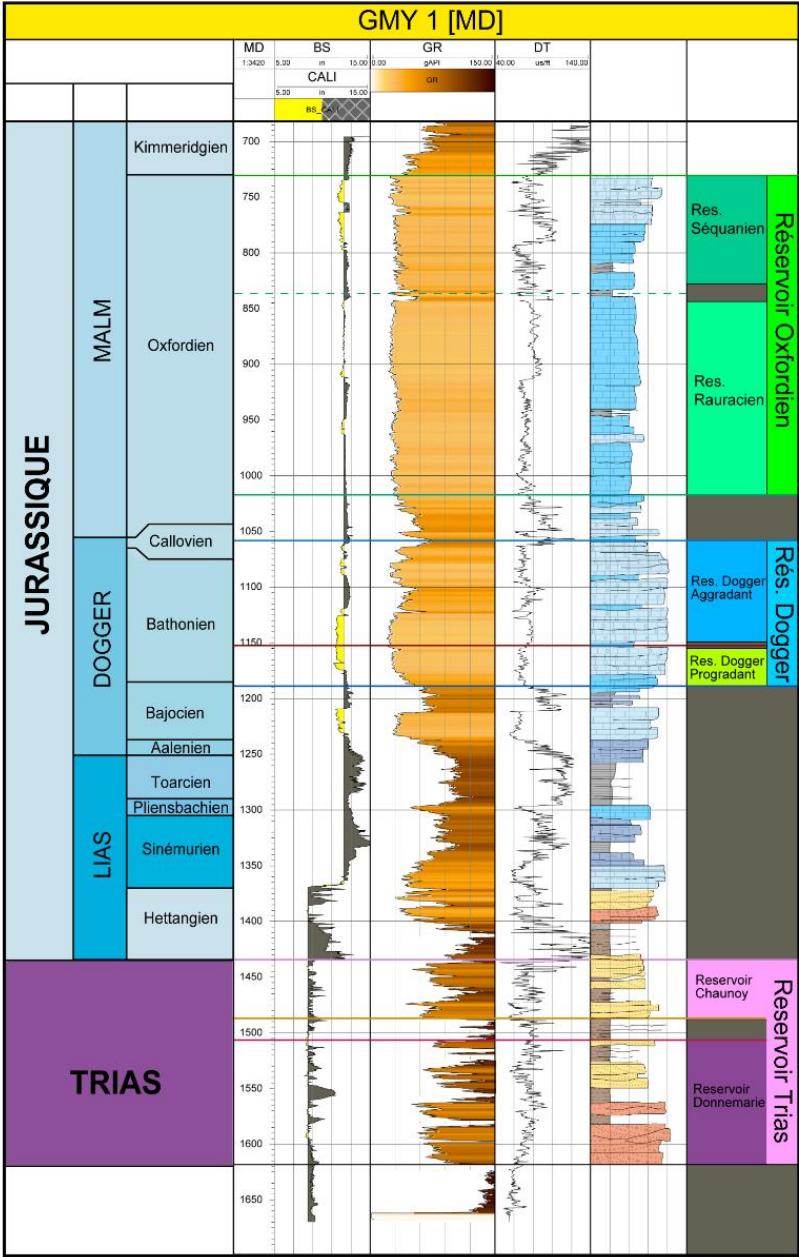
Profondeur	580 - 2435m
Température	39-96°C
Epaisseur	0 – 245m
Ep. Favorable	0- 175m

Favorabilité avec ZE

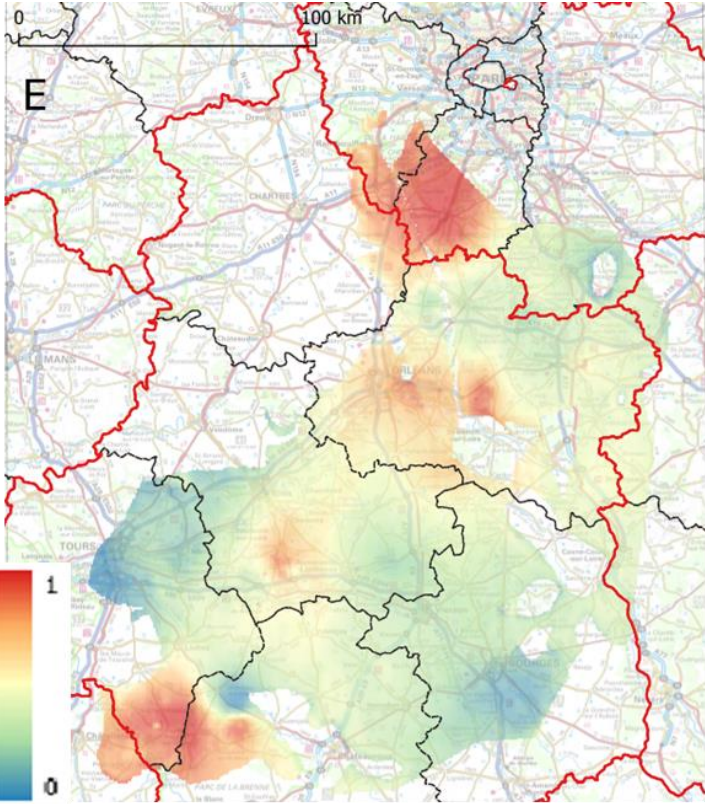


- 1- Favorabilité plus importante à l'Ouest de la région
- 2- Forte incertitude quant à la connectivité des corps réservoirs

Evaluation de la ressource géothermale



Favorabilité



TRIAS

Grès de Donnemarie

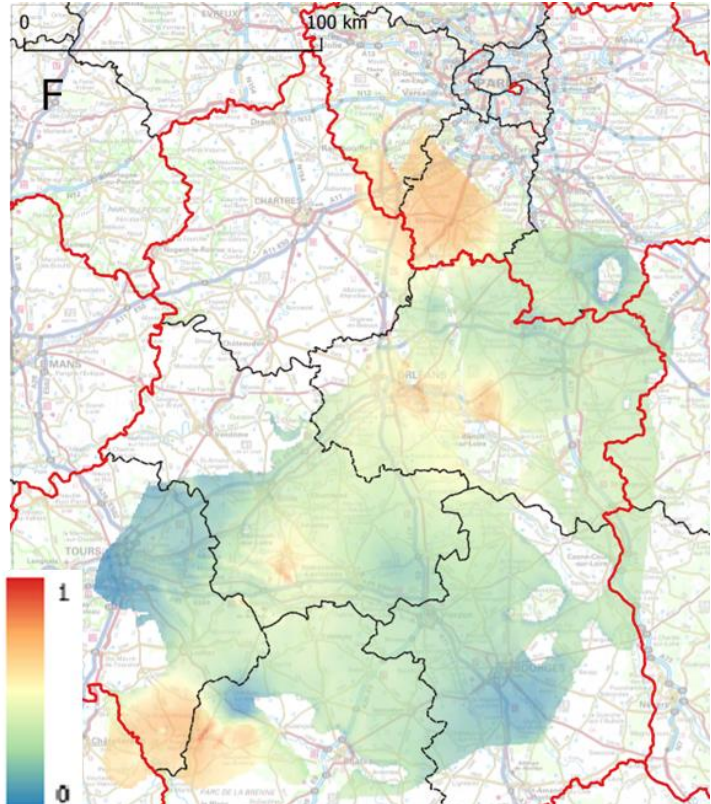
Profondeur 635 - 2640m

Température 41-99°C

Epaisseur 0 – 400m

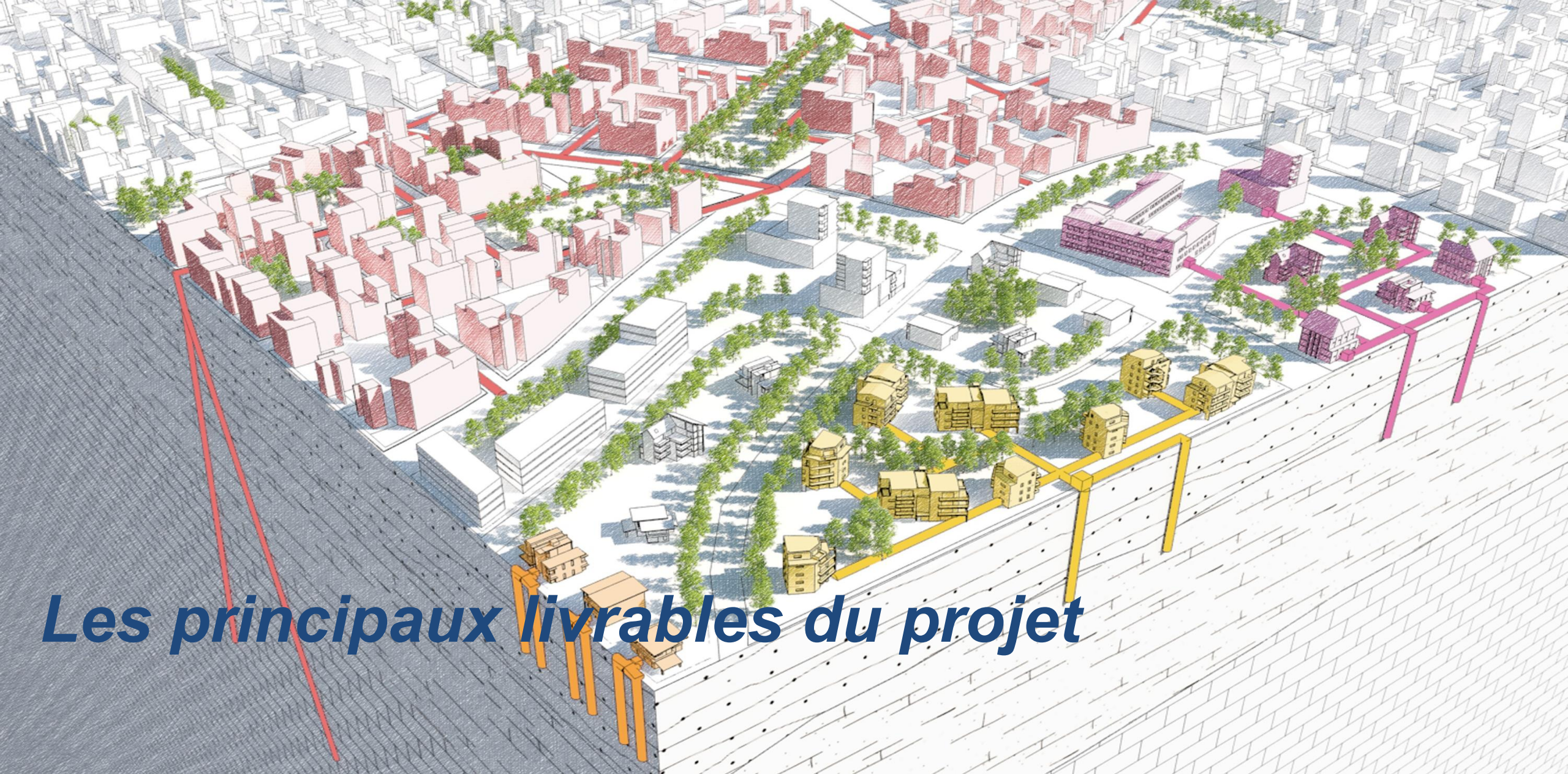
Ep. Favorable 0- 230m

Favorabilité avec ZE



1- Trois zones distinctes avec des favorabilités

2- Forte incertitude quant à la connectivité des corps réservoirs



Les principaux livrables du projet

Actions de communication / sensibilisation au projet

- **Communication sur le projet au fil de l'eau :**
 - **Un webinaire de restitution des entretiens réalisés et une présentation du b.a.ba de la géothermie profonde le 26/11/2024**
[Télécharger la présentation](#)
 - **Une communication aux Journées de la Géothermie 2025 dans la session « Le rôle des géothermies en France, dans la décarbonation, la souveraineté énergétique et la réindustrialisation » :** Déploiement de la géothermie profonde en région Centre-Val de Loire : un argumentaire à destination des acteurs locaux basé sur des analyses sociales, économiques et environnementales, V. Hamm¹, F. Andriamasinoro¹, ¹BRGM, M. Mounmami², X. Galiègue², ²LEO, X. Moch³, F. Bugarel³, ³AFPG, R. Beaulieu⁴, ⁴AMORCE, M. Doucet⁵, T. Schmit⁵, ⁵Agreen Tech Valley, Biarritz, 19 & 20 juin 2025
 - **Un séminaire de restitution des résultats intermédiaires du projet et d'échanges au BRGM le 17/09/2025** [Télécharger la présentation](#)
 - **Une visite de site (chantier et centrale géothermique) dans la région Ile-de-France au Chesnay-Rocquencourt le 10/12/2025** coorganisée par le BRGM et ENGIE
 - **La restitution finale élargie du projet le 30/09/2026**



Séminaire AMIGO au BRGM le 17/09/2025



Visite de la centrale en construction au Chesnay-Rocquencourt le 10/12/2025

Résultats mis à disposition

- **Livrables produits dans le cadre du projet :**
 - **Un livrable spécifique aux aspects sociaux :** Positionnement des acteurs en région Centre Val-de-Loire sur la géothermie profonde : projet AMIGO / WP1.
<https://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-75586-FR.pdf>
 - **Un livrable spécifique aux aspects économiques et environnementaux :** Analyse Technico-économique et Impacts Socio-économiques et Environnementaux de la Géothermie profonde, WP2.
 - **Des cartographies des réservoirs profonds disponibles sur**
<https://www.geothermies.fr/geoscan-hexagone> ainsi qu'un rapport de synthèse des données traitées et décrivant la méthodologie <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-75144-FR.zip>
 - **Un argumentaire de la géothermie profonde**

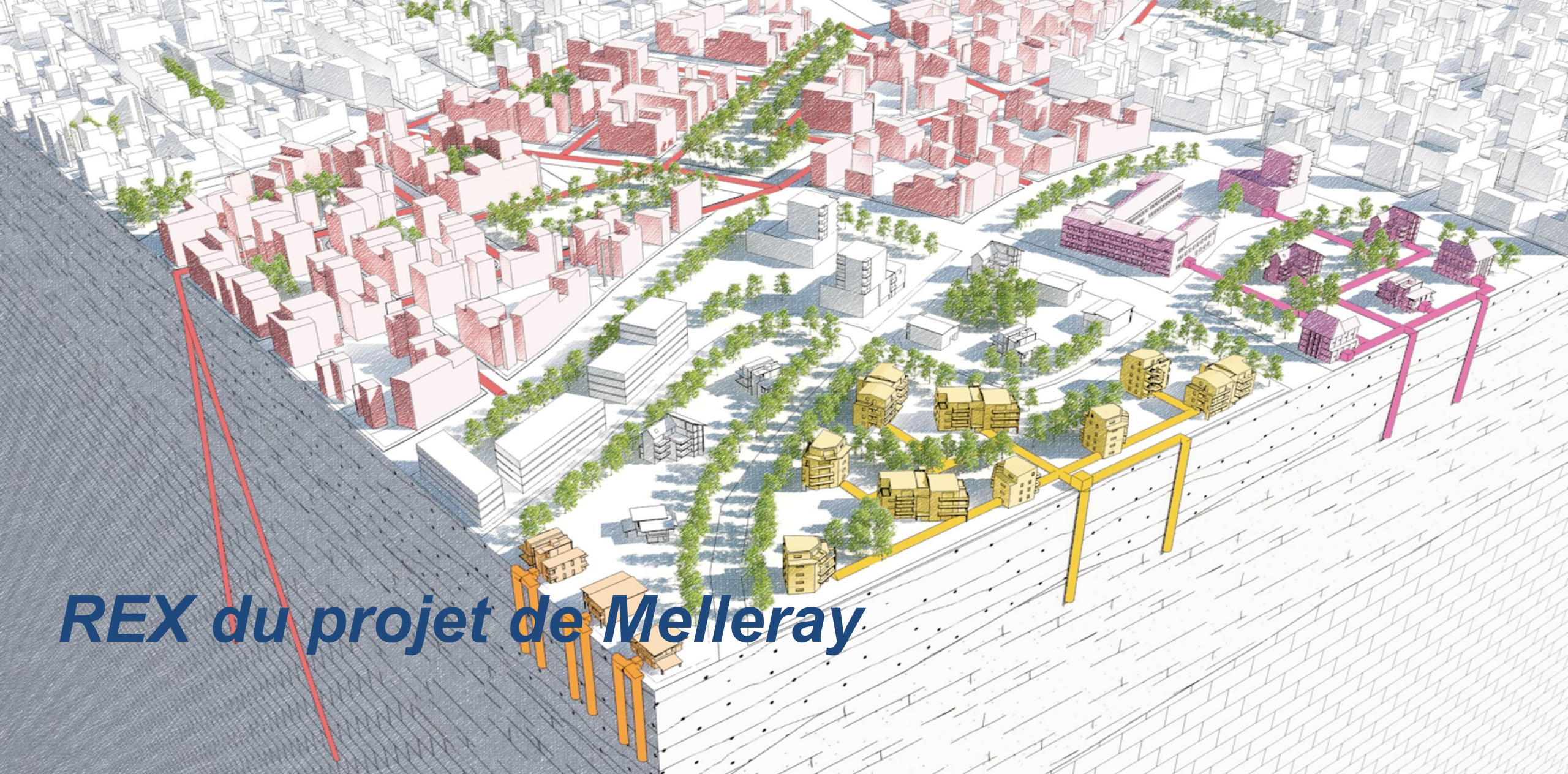
- La diffusion de l'ensemble des résultats du projet à venir sur:
<https://www.geothermies.fr/comprendre/innovation/les-projets/2024-2026-amigo-argumentaire-pour-le-deploiement-de-la-geothermie-profonde-en-region-centre-val-de-loire>

Pourquoi s'intéresser
à la **géothermie profonde**
en Centre-Val de Loire ?



Sommaire : Pourquoi
s'intéresser à la **géothermie profonde**
en Centre-Val de Loire ?

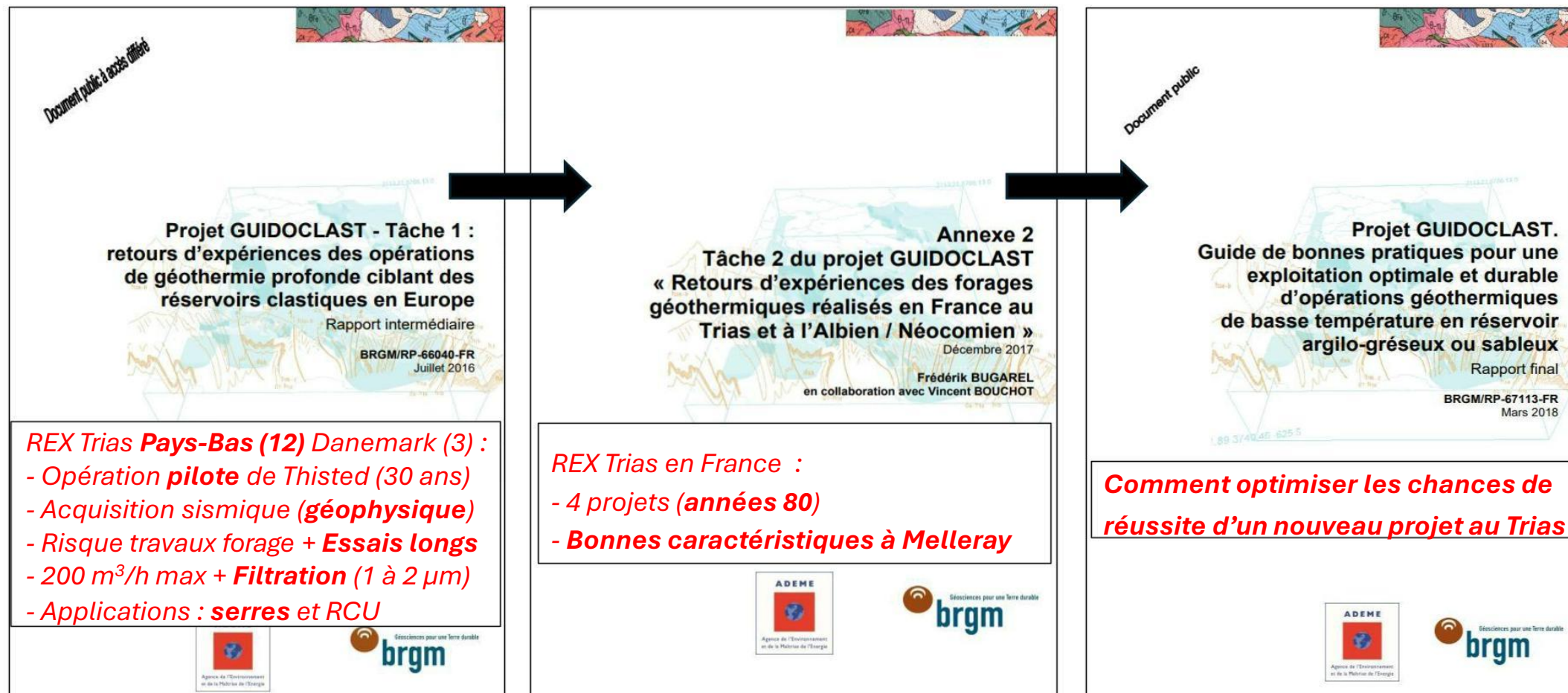
La géothermie profonde en bref	5
1) Préambule : les étapes clés d'un projet de géothermie profonde	6
a. Phase 1 : Études préliminaires - Exploration	6
b. Phase 2 : Conception - Travaux	7
c. Phase 3 : Exploitation - Maintenance	7
d. Phase 4 : Réhabilitation - Fermeture	8
e. Rappel des procédures réglementaires	8
2) Des investissements compétitifs sur le long-terme	9
3) Une énergie vertueuse sur le plan environnemental	10
4) Un potentiel en région Centre-Val de Loire avéré mais sous-exploité	13
5) Des aides et garanties financières adaptées aux enjeux de la géothermie profonde	18
6) Des exemples variés et promoteurs d'utilisation de la géothermie profonde dans des contextes similaires	21
Liens utiles - pour aller plus loin	26



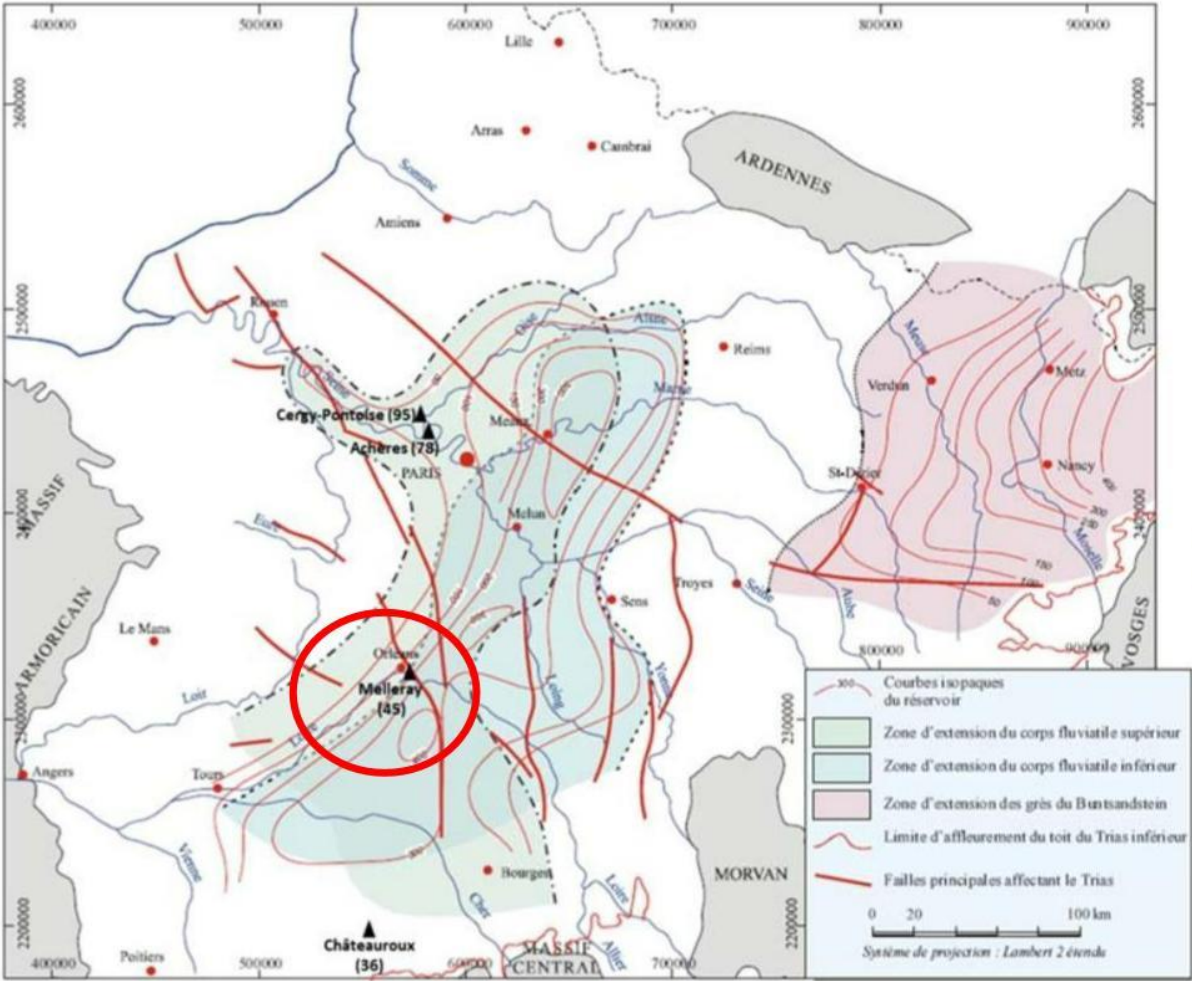
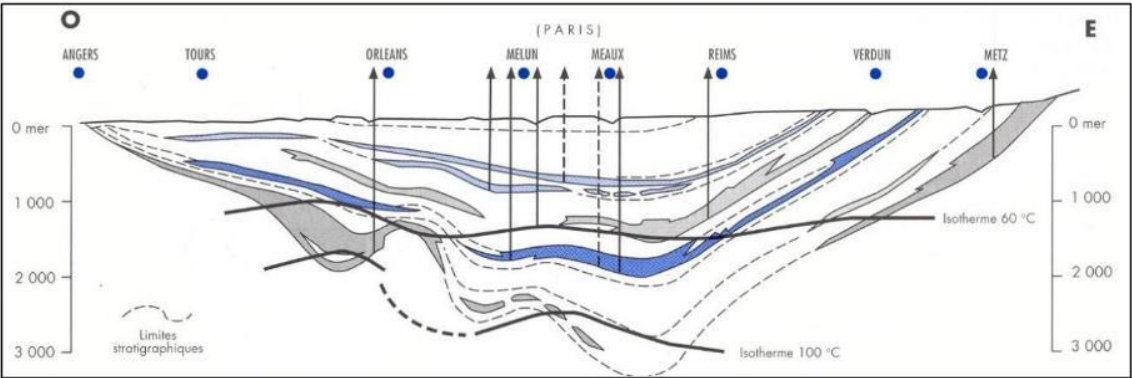
REX du projet de Melleray

1. **Le projet GUIDOCLAST (REX Trias en France et en Europe / Guide de bonnes pratiques)**
2. **Les projets géothermiques au Trias en France (années 80)**
3. **Le doublet de Melleray (application serres)**
4. **Principaux enseignements de l'exploitation du doublet de Melleray**
5. **Perspectives : développement des réservoirs potentiels profonds**

1. Le projet GUIDOCLAST (conventions ADEME/BRGM 2016 et 2017)



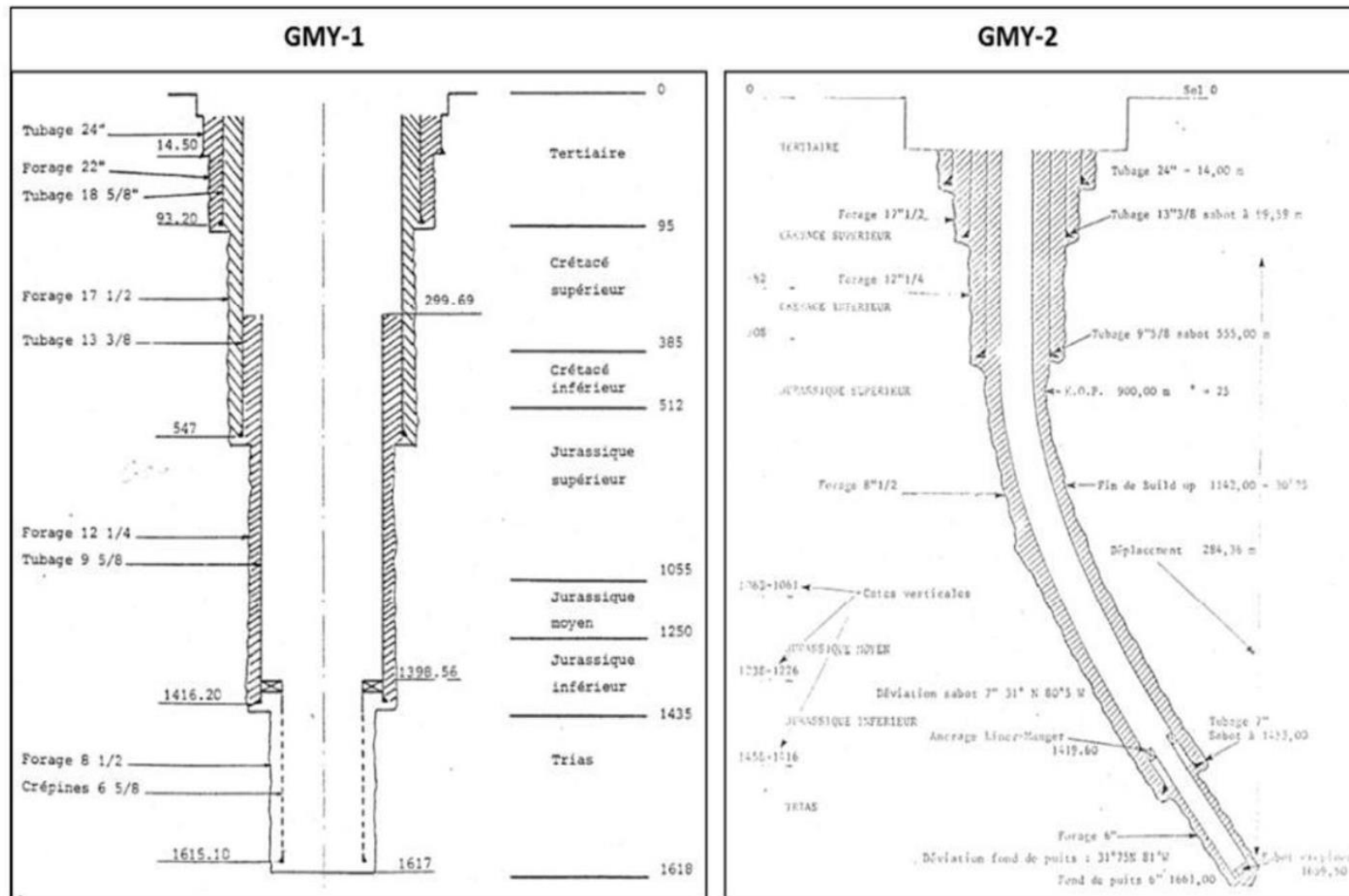
2. REX des projets géothermiques au Trias en France



Opération	Profondeur (m)	Température (°C)	Transmissivité (D.m)	Epaisseur totale / utile (m)	Années
Melleray	1436	74	15,5	182 / 36	1979/1980
Cergy-Pontoise	1940	77	-	33	1980
Achères	1890	78	11,2	67 / 15	1982
Châteauroux	455	32	-	201 / 20	1983

Bonnes caractéristiques à Melleray

3. Le doublet de Melleray au Trias



- Délai de 1 an entre les 2 forages
- **Pas d'acquisition de sismique nouvelle** (position et rôle de la faille de Sennely)

Puits producteur GMY-1:

- Vertical, chambre de pompage 300 m
- **OH 8"1/2 avec crépines INOX 6"5/8**
- **Test Dogger nég. (fort ROP après)**
- Stimulation (Hexamétaphosphate)
- Développement 7j (skin positif)
- Pression en tête 6,5 bars
- Indice de productivité de 10 m3/h/bar
- Débit de 175 m3/h
- Rabattement de 200 m
- Salinité élevée de 36 g/L

Puits injecteur GMY-2:

- Déviés (23°)
- **OH de 6" avec crépines INOX 4"1/2**

Doublet:

- Ecartement: 1050 m au réservoir
- Ouverture crépines: 0,8 mm
- **Pas de massif filtrant**

4. Principaux enseignements de l'exploitation du doublet de Melleray

D'un point de vue stratégique, les trois éléments ci-dessous sont à retenir :

- **L'échec relatif de ce projet industriel** visant à alimenter des serres **a causé un grave préjudice au Maître d'ouvrage, mais aussi à l'ensemble de la filière**, en particulier sur la région d'Orléans où, malgré de bonnes caractéristiques du réservoir (transmissivité de l'ordre de 13 à 15 D.m et température de 79°C), plus aucun projet de géothermie profonde n'a vu le jour depuis plus de trente ans. Ce point souligne **la nécessité de trouver des moyens permettant de réduire l'impact négatif d'un échec prévisible** compte tenu du caractère exploratoire de ce type d'opération.
- **En termes de structuration du projet**, le doublet de Melleray a été réalisé pour le compte d'un groupement d'intérêt économique (GIE Géoval) qui fédérait différents exploitants des serres. **Cette organisation a eu une incidence sur la gestion du projet par des délais relativement longs dans les prises de décisions d'ordre technique, et des conséquences économiques négatives** comportant notamment des pertes d'exploitation supplémentaires liées à des consommations de fuel (Boisdet et al., 1989). **Cet aspect organisationnel est donc à prendre en compte en amont du projet afin de faciliter le déroulement des opérations et optimiser les chances de succès.**
- L'absence d'une étude géophysique préalable n'a pas permis de préciser la structure géologique au droit du site de Melleray et en particulier la position de la faille de Sennely (accident tectonique majeur du Bassin Parisien). D'autre part, l'anomalie relative au comportement hydraulique du réservoir, révélée lors des essais de production du puits injecteur GMY-2, n'a pas été clairement identifiée (nature multi-couche du réservoir ou variation latérale de faciès, comportement hydraulique de la faille de Sennely ?). Ces points soulignent **la nécessité d'études complémentaires en amont du projet (sismique) et en fin d'opération de forage (essais hydrogéologiques) afin d'améliorer la connaissance du réservoir cible pour optimiser les chances de succès de l'exploitation.**

- *Anticiper les solutions de repli*
- ***Garantie SAF Environnement (segment 2 ?)***

- *Veiller à la cohérence du projet*

- *Etude de dérisking (acquisition sismique)*
- *Améliorer la connaissance du réservoir*

4. Principaux enseignements de l'exploitation du doublet de Melleray

D'un point de vue technique, la conception du doublet de Melleray fait apparaître des choix techniques forts, portant notamment sur :

- L'affectation de la fonction des puits producteur et injecteur (déterminée par la réalisation de la chambre de pompage) avant la réalisation des travaux et des essais.
- La réduction des diamètres des tubages et de la complétion du puits injecteur suite aux résultats encourageants du premier puits producteur.
- L'absence de massif filtrant au niveau de la complétion du réservoir.

Ces choix techniques ont très probablement réduit les chances de succès de l'opération de Melleray compte tenu notamment de la très forte sensibilité de la pression d'injection par rapport à la valeur de l'indice d'injectivité. Une valeur d'indice de 4 m³/h/bar légèrement supérieure à celle mesurée au puits injecteur GMY-2 (2 m³/h/bar) aurait potentiellement permis de fonctionner au débit d'exploitation prévisionnel de 150 m³/h, avec une pression d'injection de l'ordre de 37,5 bars nettement inférieure à la pression de 58 bars limitant le débit à 110 m³/h.

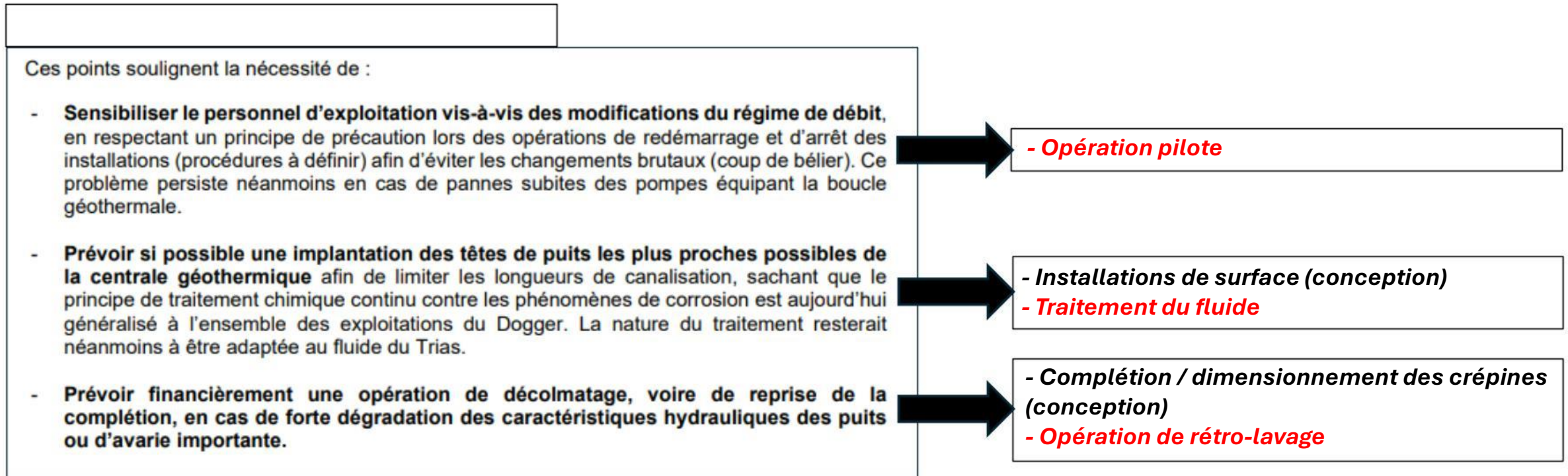
Ces points soulignent la nécessité de **conserver une flexibilité relative à l'affectation de la fonction des puits** (producteur, injecteur) suivant les caractéristiques hydrogéologiques les plus favorables du réservoir, et de **prévoir une complétion au diamètre le plus grand possible** (réduction des pertes de charge) **équipée d'un massif filtrant**.



- *Architecture de puits (conception)*
- *Injectivité (risque principal)*

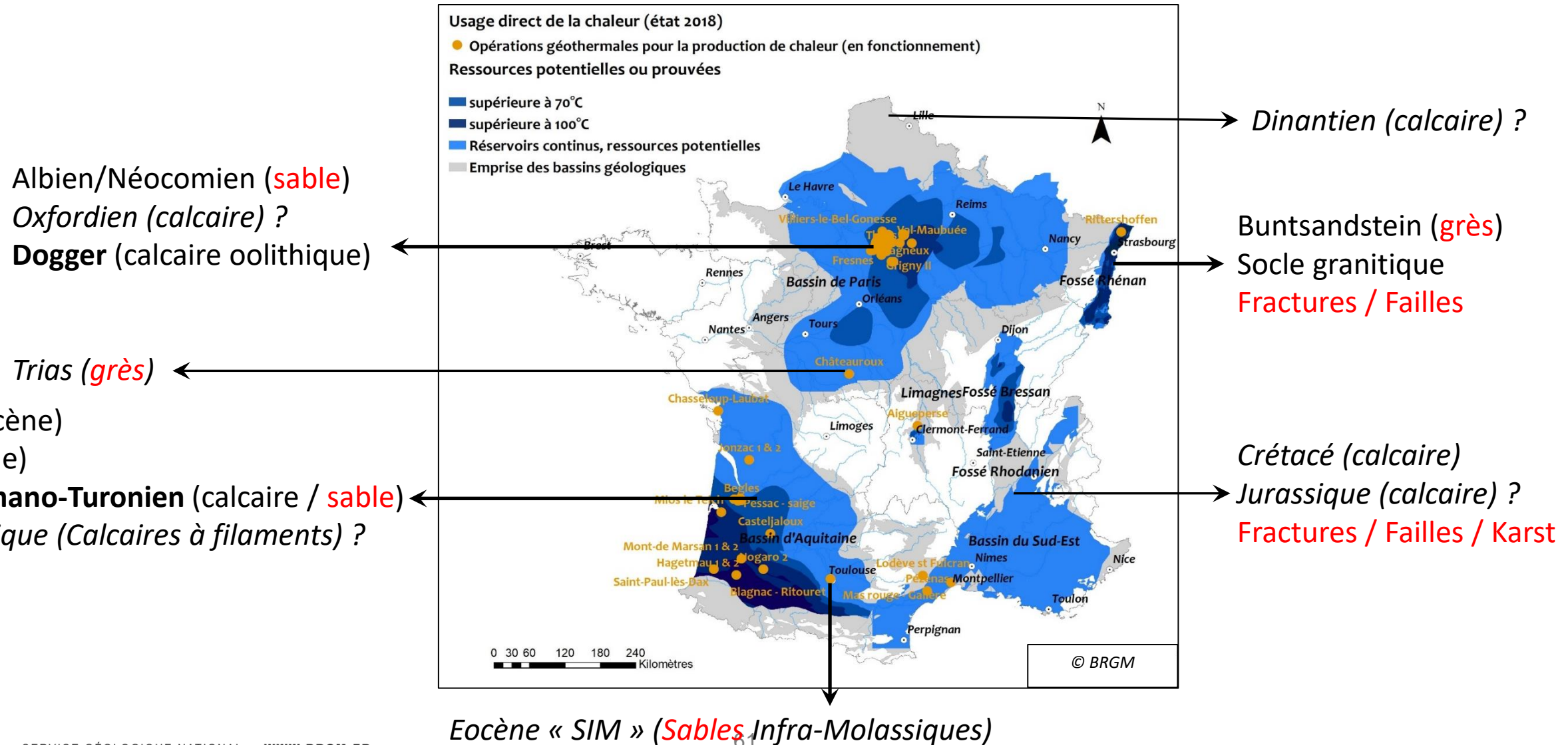
Réf : Annexe 2 du rapport GUIDOCLAST (BRGM/RP 67113-FR – Mars 2018)

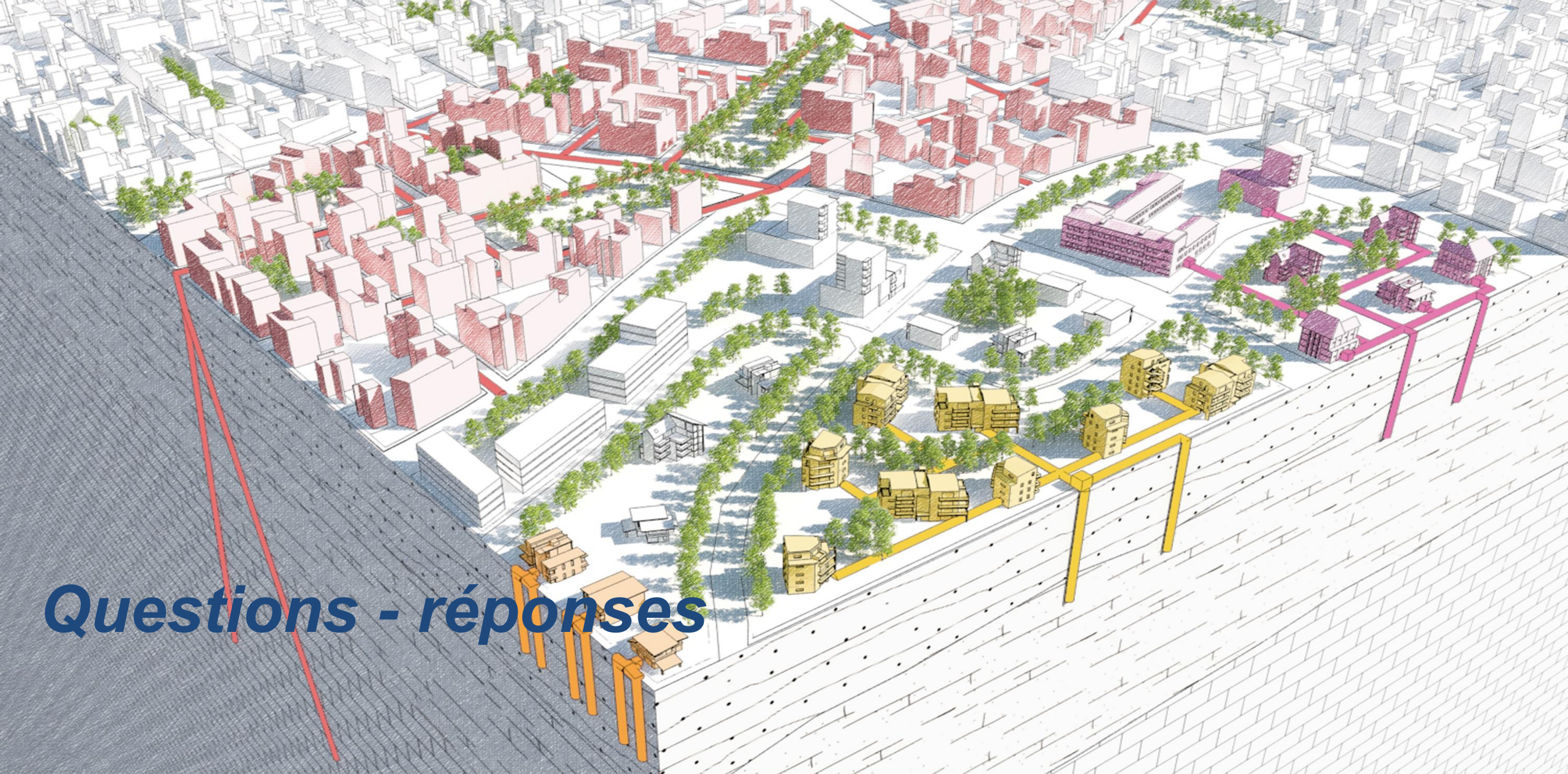
4. Principaux enseignements de l'exploitation du doublet de Melleray



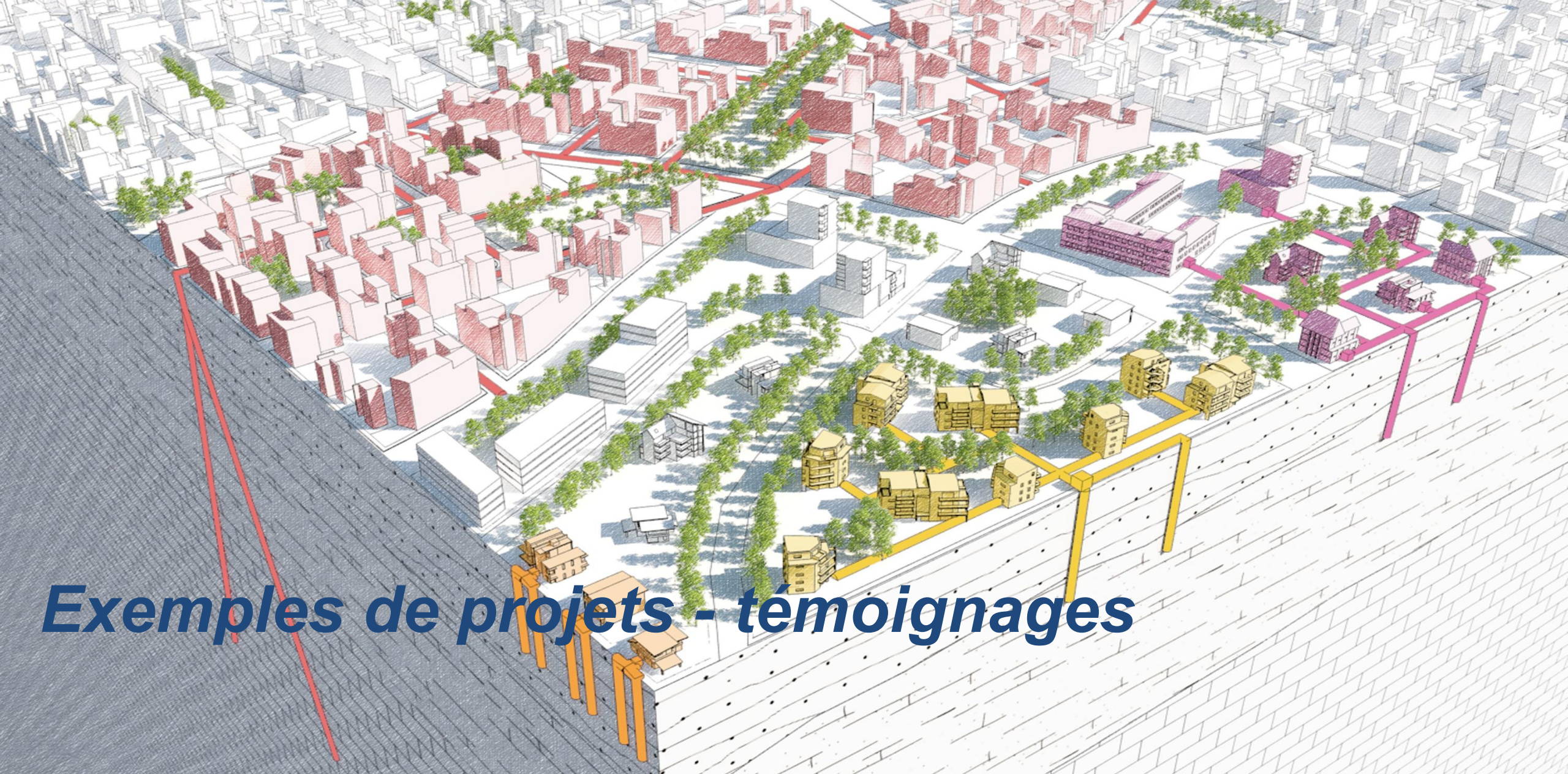
Réf : Annexe 2 du rapport GUIDOCLAST (BRGM/RP 67113-FR – Mars 2018)

5. Perspectives : développement des réservoirs potentiels profonds

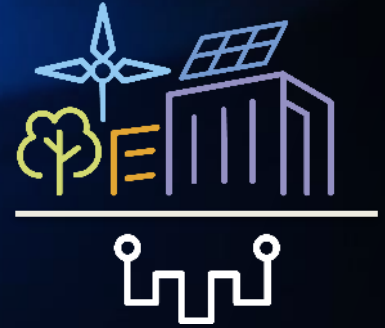




Questions - réponses



Exemples de projets - témoignages



EXEMPLE D'UN DOUBLET CONVENTIONNEL ADAPTÉ À UN PROJET INDUSTRIEL À SAFRAN-VILLAROCHE (77)

Date : 30/09/2026

SAFRAN et SAFRAN AIRCRAFT ENGINES



UN GROUPE
INTERNATIONAL
**DE HAUTE
TECHNOLOGIE**

5

DOMAINES
D'ACTIVITÉ

PROPULSION AÉRONAUTIQUE & SPATIALE
ÉQUIPEMENTS AÉRONAUTIQUES
INTÉRIEURS D'AVIONS
DÉFENSE
ESPACE



110 000
COLLABORATEURS*



DANS
29 pays*



75%

DU BUDGET R&T
DE SAFRAN VISE À
**RÉDUIRE L'IMPACT
DU TRANSPORT
AÉRIEN SUR
L'ENVIRONNEMENT***

*À fin 2025

SAFRAN AIRCRAFT ENGINES



n°1 mondial pour les avions > 100 places
n°1 pour les avions militaires européens
35 sites dont 13 en France

Un avion équipé de moteurs CFM décolle toutes les 2 secondes dans le monde



MOTEURS
CIVILS



MOTEURS
MILITAIRES

VILLAROCHE EN QUELQUES CHIFFRES

UN COMPLEXE INDUSTRIEL AÉRONAUTIQUE



1^{er} employeur industriel de Seine-et-Marne



Bientôt 80 ans d'expertise



+100 ha de superficie – 100 bâtiments



+6 500 personnes sur le site + **1000** prestataires



Certification **Niveau Or** selon standards Santé Sécurité Environnement Safran (Ces standards définissent la performance du management SSE sur l'ensemble des sites ou entités du Groupe)



Organisme handi-accueillant, conformément à la norme AFNOR



Situé à **50 kilomètres** au Sud de Paris

Site situé sur :

2 communes (Réau & Montereau sur le jard)
2 Agglomérations (GPS & CAMVS)
1 EPA
1 SYMPAV
1 SPL



LE PROJET EN QUELQUES CHIFFRES

Objectif de réduction des émissions CO2 de -55% à 2030 par rapport à 2018
et politique de sortie du gaz

**6 500 tCO2 évités par
an**



*(correspondent à l'absorption annuelle d'une
forêt de 5 km², soit environ 700 terrains de
football couverts d'arbres.)*

**Pour le
site...**



- 84% de gaz

*(Chauffage annuel de
≈ 2500 à 3000 foyers
français)*



**95% des
bâtiments du
site concernés**



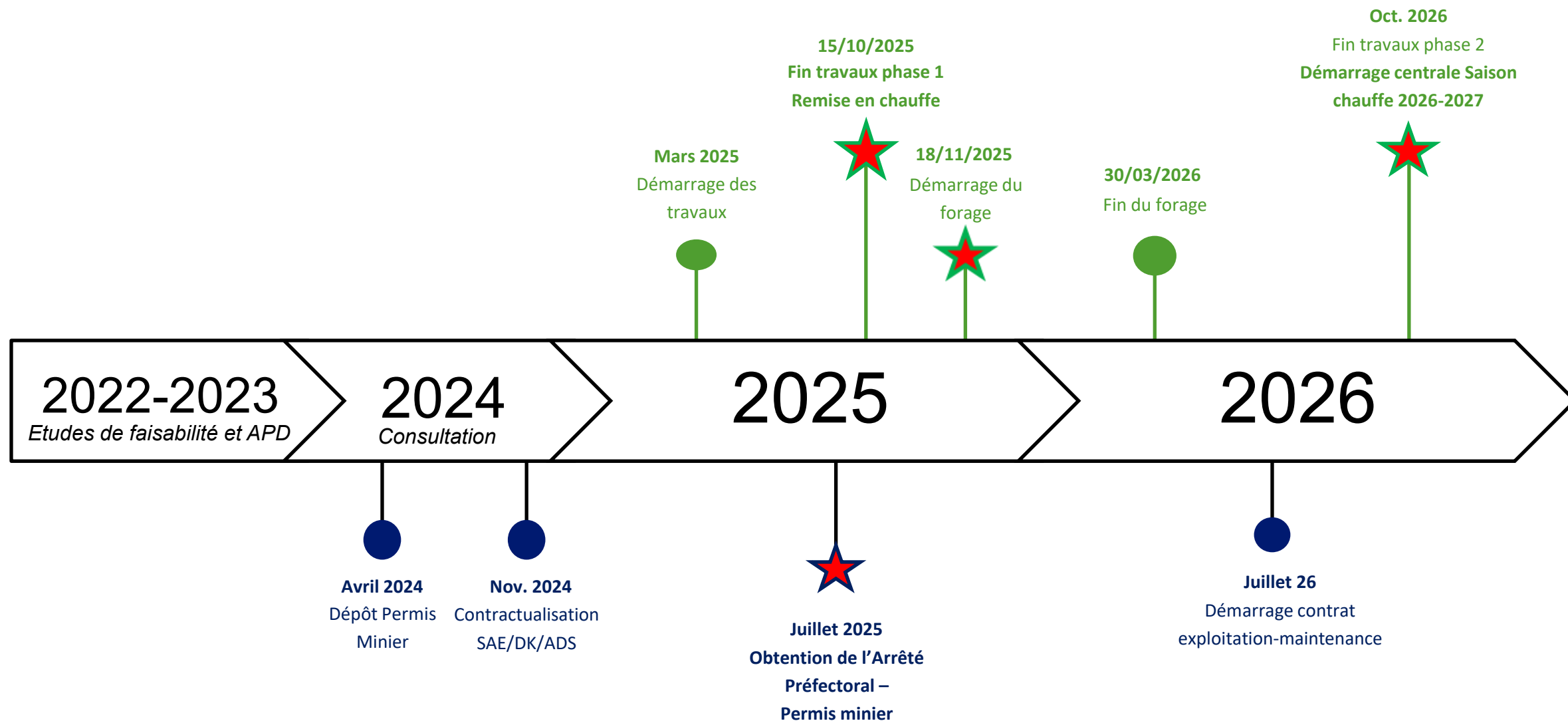
**75% du besoin
de chauffage**



**73% de l'objectif
du décret
tertiaire à 2030**

! Une énergie locale et inépuisable = Indépendance et constance du prix de l'énergie

RETRO-PLANNING



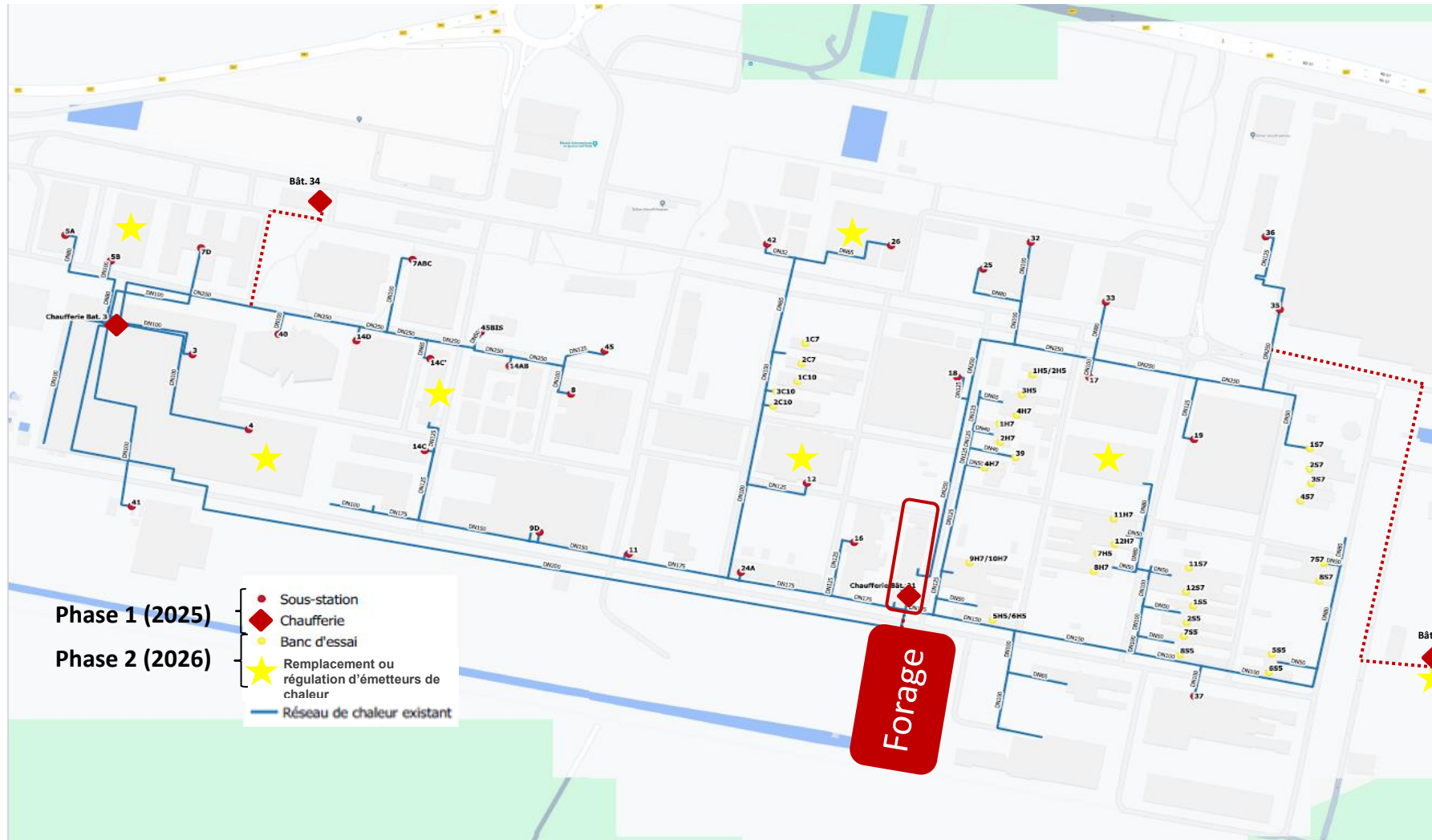
ETUDES DE FAISABILITE (2022-2023)

Objectif n° 1 : trouver une alternative au chauffage gaz – Décarboner le site

- Consommation gaz du site pour chauffer les bâtiments (99% de la conso.) : ≈ 36 GWh / an (46 GWh en 2022)
- Etude de faisabilité engagée en 2022 avec Manergy

	Référence	Scénario 2A	Scénario 2B	Scénario 3	Scénario 4
Type d'énergie	Gaz	Géothermie + Gaz	Géothermie + Gaz	Géothermie + PAC + Gaz	Biomasse + Gaz
Explication du scénario	<p>Pas de changement majeur par rapport à l'installation actuelle.</p> <p>Des investissements prévus pour rénover les installations existantes</p>	<p>Création d'une centrale géothermique sans PAC</p> <p>Réalisation de travaux en sous-stations et sur le réseau secondaire.</p> <p>Travaux minimum pour avoir un taux EnR supérieur à 50%</p>	<p>Création d'une centrale géothermique sans PAC</p> <p>Réalisation de travaux en sous-stations et sur le réseau secondaire.</p> <p>Travaux permettant de maximiser le taux EnR sans recourir à une installation avec PAC</p>	<p>Création d'une centrale géothermique avec installation de pompes à chaleur (4,5 MW PAC).</p> <p>La mise en place de PAC permettra d'optimiser le taux EnR du scénario 2A</p>	<p>Création d'une centrale composée d'une (ou 2) chaudières biomasse d'une puissance totale de 8MW.</p>

PERIMETRE ET PHASAGE



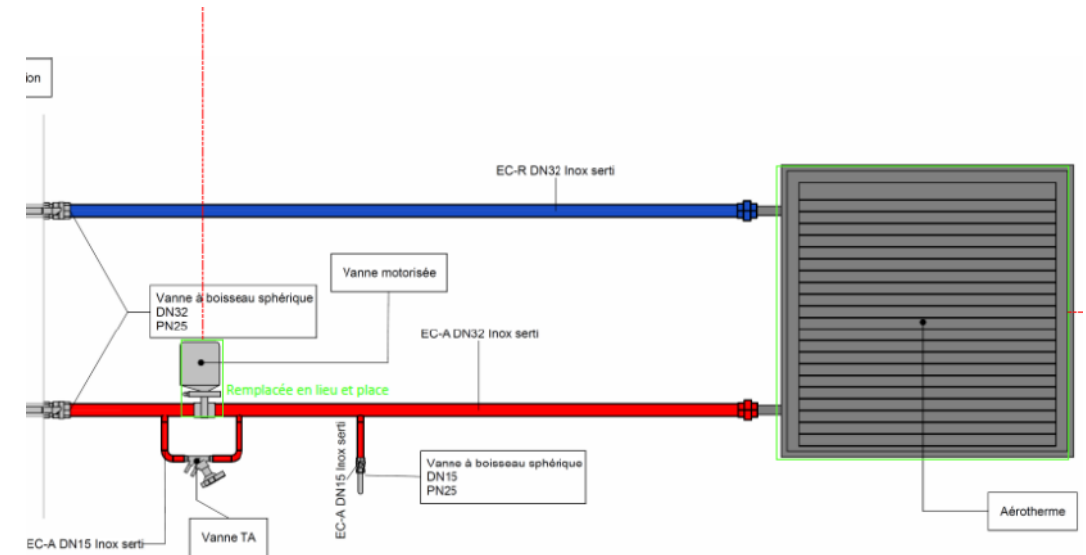
- Puissance : 16 MW (env. 30MW installés)
- 110 bâtiments des années 1945-50 à aujourd'hui
- 2 chaufferies principales
- 3 réseaux principaux et une liaison entre chaufferies 3 et 21
- 35 sous-stations de chauffage

PHASE 2 (2026) : TRAVAUX D'ADAPTATION DES EMETTEURS

Régulation et remplacement d'aérothermes/CTA dans les bâtiments

- Des travaux dans 25 bâtiments entre avril et fin sept., plus de 120 aérothermes/CTA concernés.
- Objectif : amélioration de la performance de la géothermie par l'adaptation du régime de T° et nécessité d'abaisser les températures de retour d'eau aux pompes à chaleur.

**Amélioration de la couverture du besoin
en ENR de 60 à 75%**



UN DOUBLET DE FORAGES POUR EXPLOITER LE RESERVOIR

Réservoir du Bathonien
très favorable

Un dimensionnement des
puits adapté aux besoins
(débit max. 200 m³/h)

Deux forages inclinés conventionnels

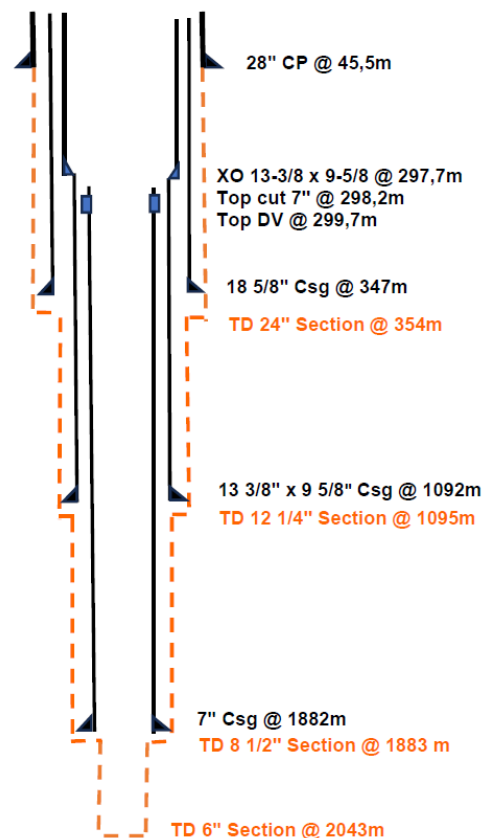
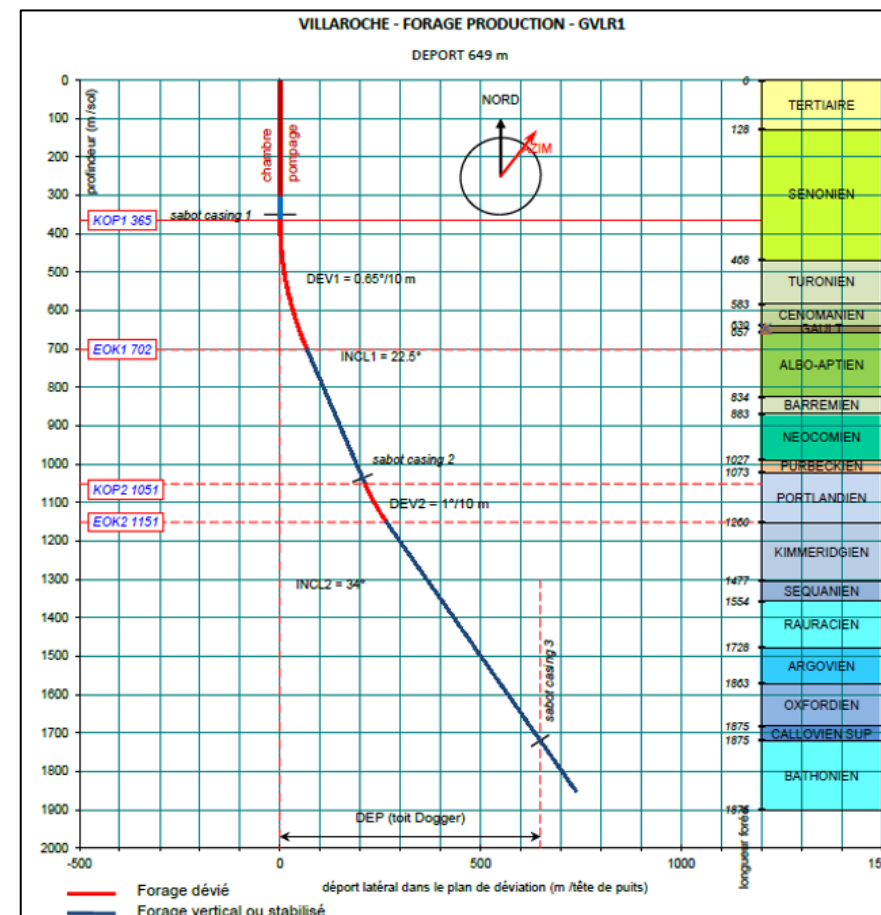
Propriétés réservoir

Attendues:

- 73 ± 2 °C
- Transmissivité 70 ± 30 Dm

Obtenues:

- 73,8°C au sabot des puits
- Transmissivité 75 à 113 Dm



ACTEURS

- Contrat CREM (Conception Réalisation Exploitation et Maintenance)



- AMO sous-sol et surface



- Etudes de faisabilités
- Rédaction des programmes de travaux et constitution du dossier de consultation des entreprises
- Accompagnement au montage des dossiers administratifs (subventions, permis miniers, permis d'exploitation)
- Accompagnement en phase travaux et commissionning

- Administrations / Assurances

- DRIEAT
- ADEME
- Région
- SAF-E



MERCI

Exemples d'architectures composite et drains subhorizontaux :

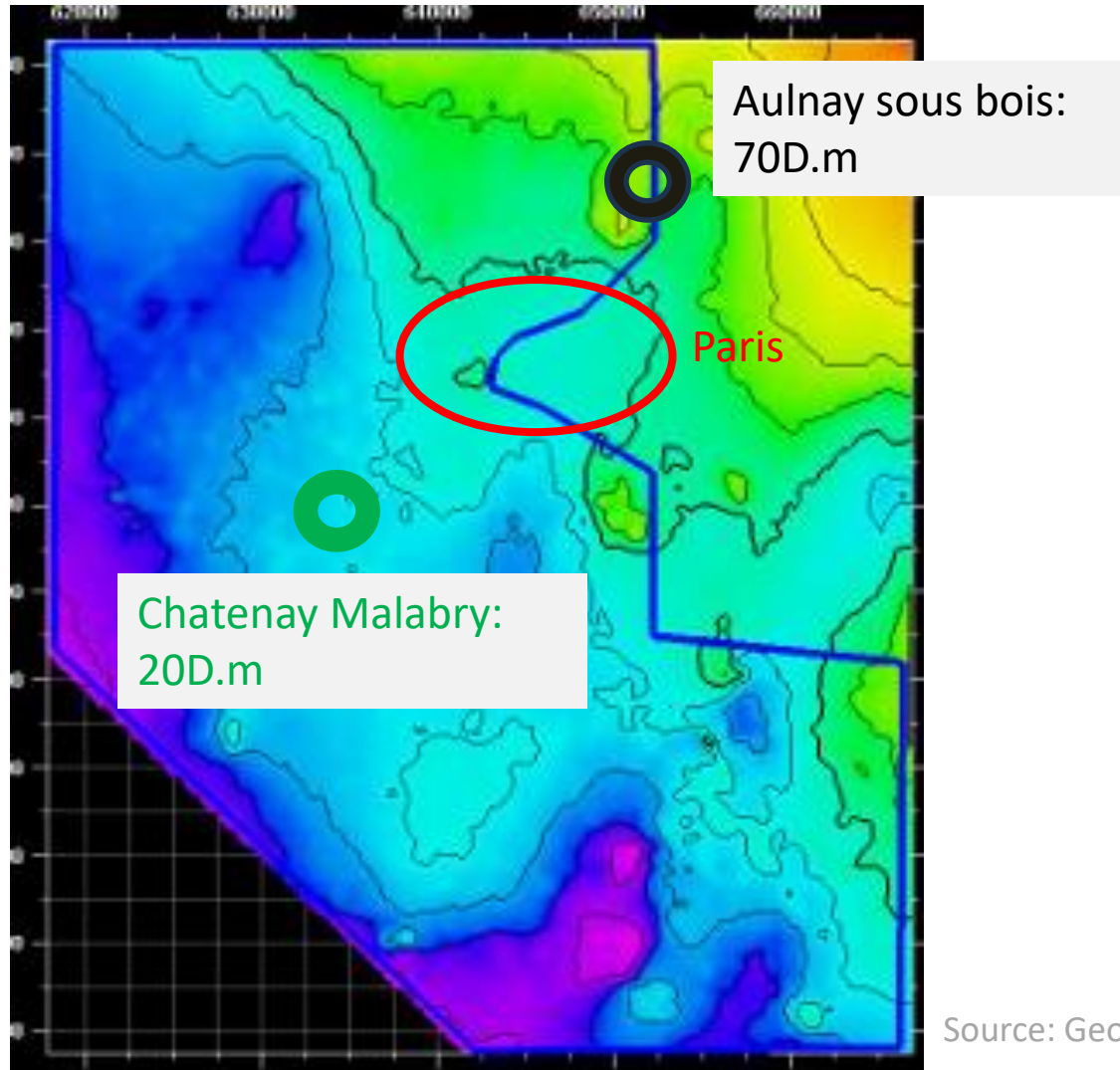
Projets d'Aulnay-sous-Bois (93) et Chatenay-Malabry (92)

Partie 1

Problématique 1: une productivité parfois insuffisante



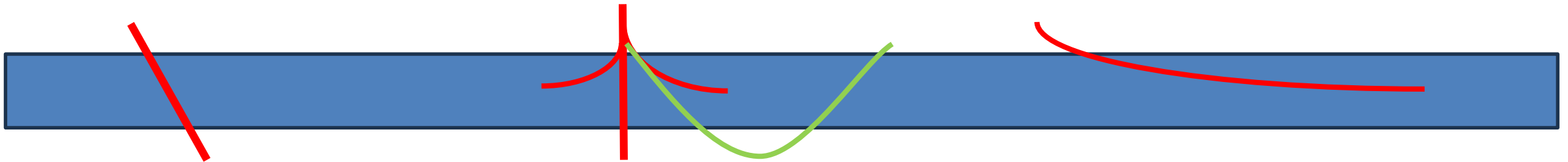
L'Ile de France: des fortunes diverses au Dogger



Besoin de solutions adaptées au sud ouest

Source: Geoscan IDF

Différentes façons de connecter un réservoir au puits

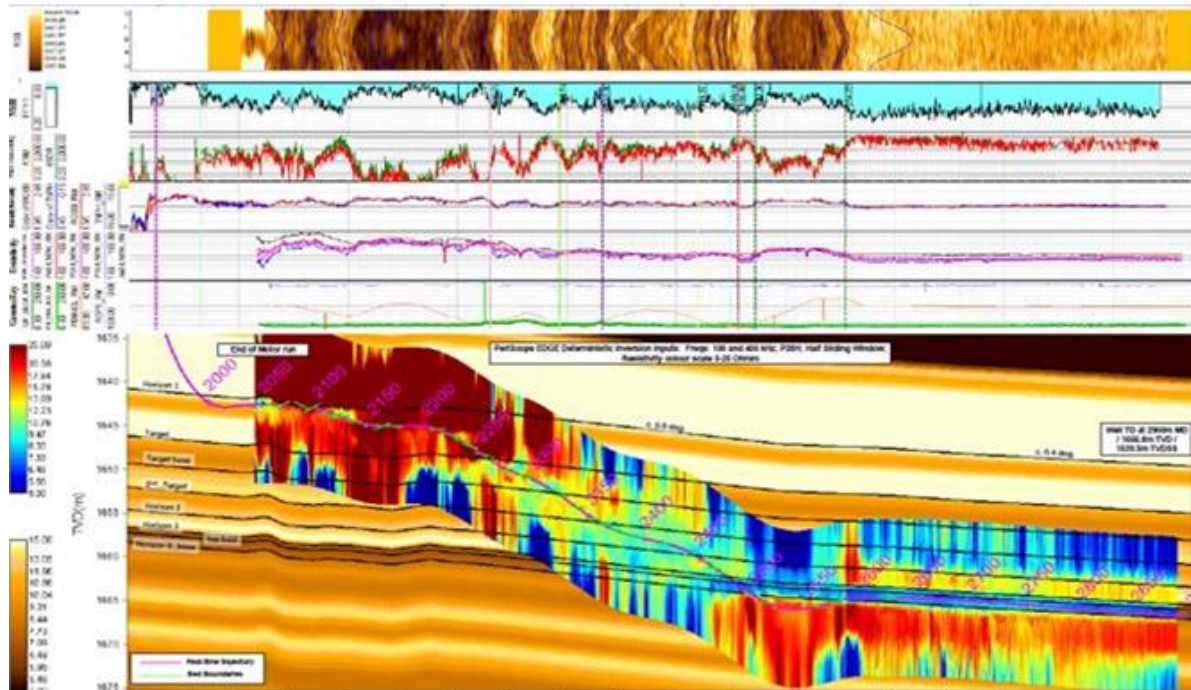
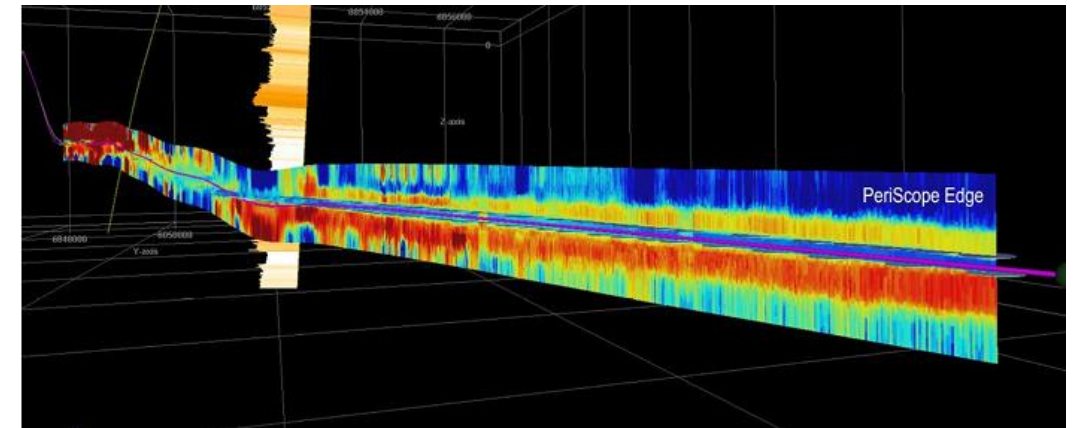
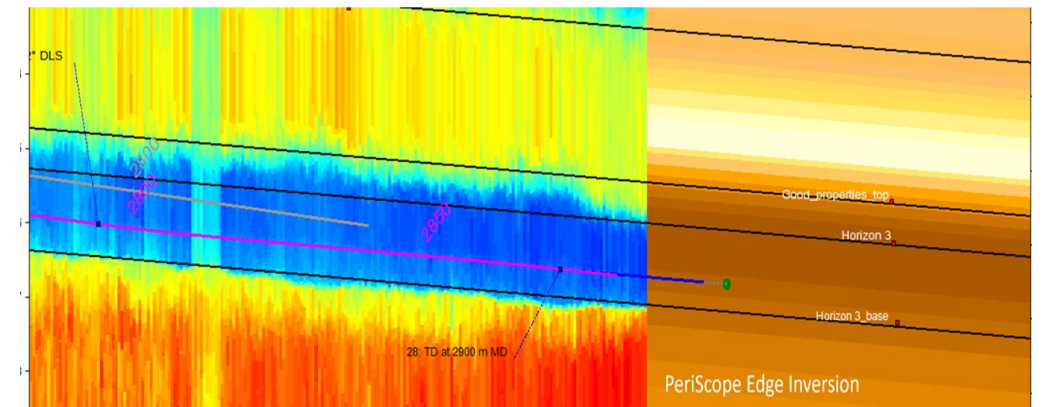


Drains simples

Multidrains

Drains subhorizontaux

Conséquence du drain subhorizontal: géonavigation



Mesure en continu de gamma ray, résistivités, neutron, densité, résonance magnétique...

A Chatenay Malabry, réalisation de 2 drains de plus de 1000m chacun

Partie 2

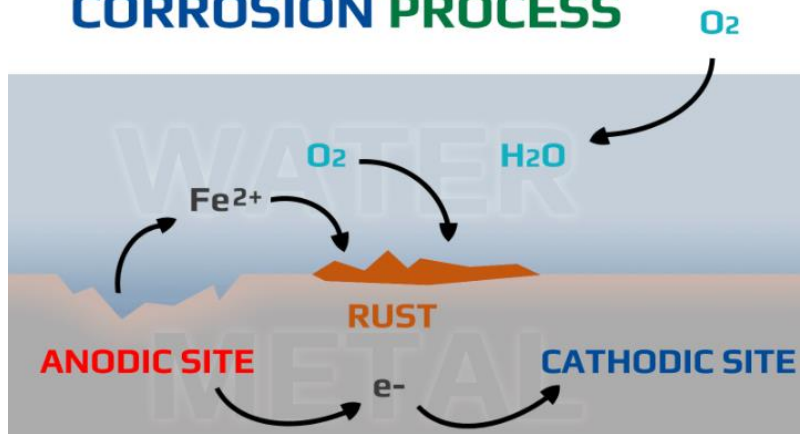
Problématique 2: la corrosion

ÉNERGIE VERTE EST DANS NOTRE NATURE | L'ÉNERGIE VERTE EST DANS NO



Corrosivité du fluide géothermal

CORROSION PROCESS



Sodium: #10 g/L
Chlorure: #20g/L

} Autant que l'océan atlantique...

PP: CO2 de 5 à 20%, H2S de 0,1 à 1% avec une Pb vers 5-10 bar

Des durées de vie d'ouvrages impactées...

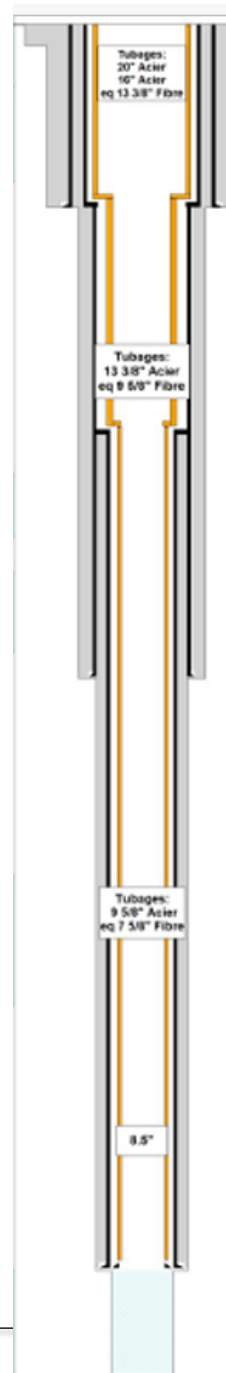
Plusieurs solutions à mettre en oeuvre



Solution: fibre de verre et résine epoxy



Un matériau résistant à la chimie du fluide géothermal



... mais fragile

Questions



Sogéo : 4 villes unies par la géothermie pour un avenir décarboné

Le réseau de chaleur de Chaville, Sèvres, Ville-d'Avray (92) et Viroflay (78)

Restitution projet AMIGO – BRGM Orléans 30 septembre 2026



Le réseau de chaleur Sogéo : les parties prenantes



Sogéo, le réseau de chaleur qui répond aux principaux enjeux du territoire



Décarbonation du territoire et préservation de l'environnement

- Réduire significativement les émissions de CO₂ du territoire : 35 000 tonnes évitées / an
- Intégration du projet au développement durable



Indépendance énergétique pour le plus grand nombre d'habitants

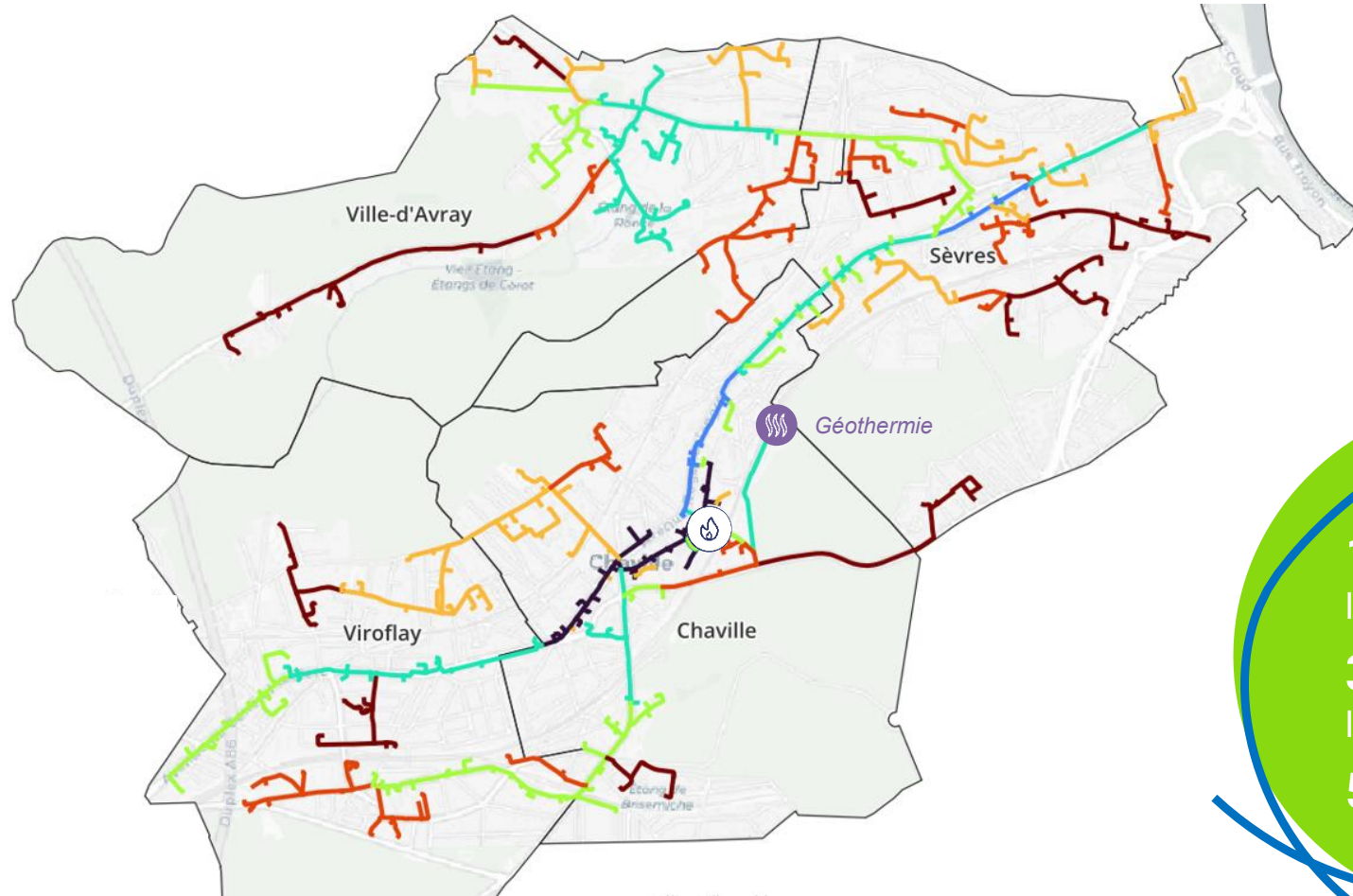
- Une production et une distribution de **chaleur locale et renouvelable** à 94% grâce à la géothermie profonde
- Un **développement ambitieux** pour desservir 13 900 équivalent logements



Attractivité économique et sociale du territoire

- La **stabilité et la maîtrise du prix** de l'énergie
- Création pérennes d'**emplois locaux** pour le territoire

Le réseau de chaleur SOGEO arrive à Chaville, Sèvres, Ville-d'Avray et Viroflay



Phase 1 Phase 2 Phase 3 Phase 4 Phase 5 Phase 6

Phasage prévisionnel des travaux de pose des réseaux

13 900 équivalent
logements chauffés

317 sous-stations de
livraison de chaleur

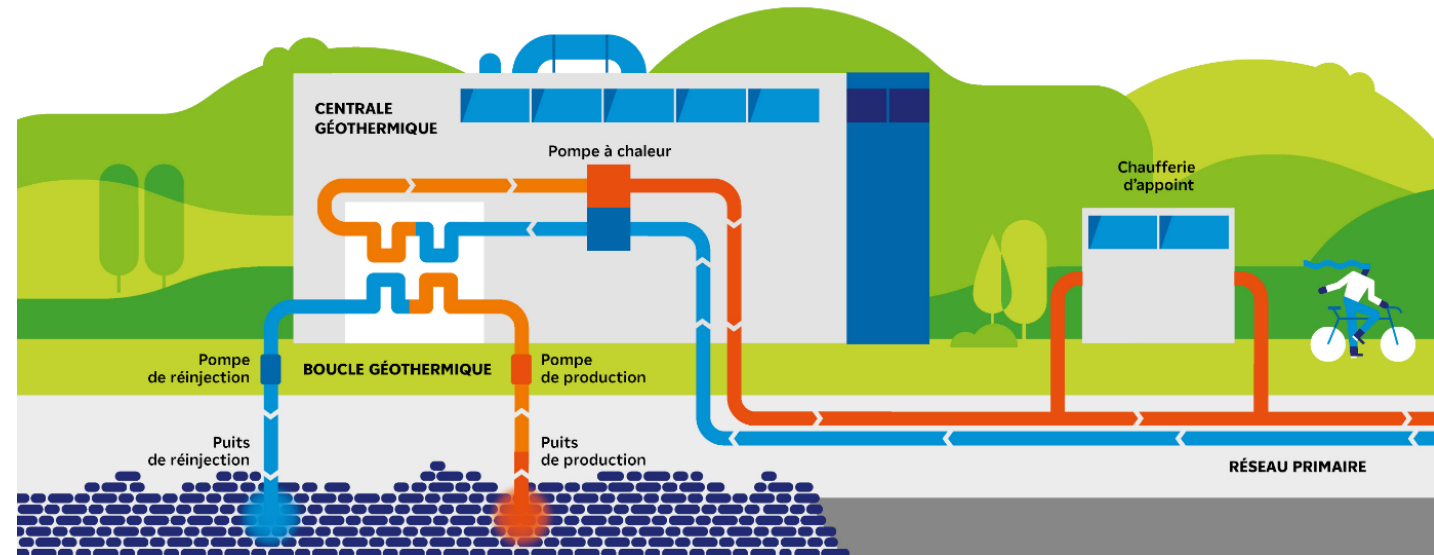
50 km de réseau

Création de la future centrale de géothermie de Chaville



La géothermie est une énergie :

- Renouvelable
- Locale
- Disponible 24h/24
- Non émettrice de CO₂
- Discrète



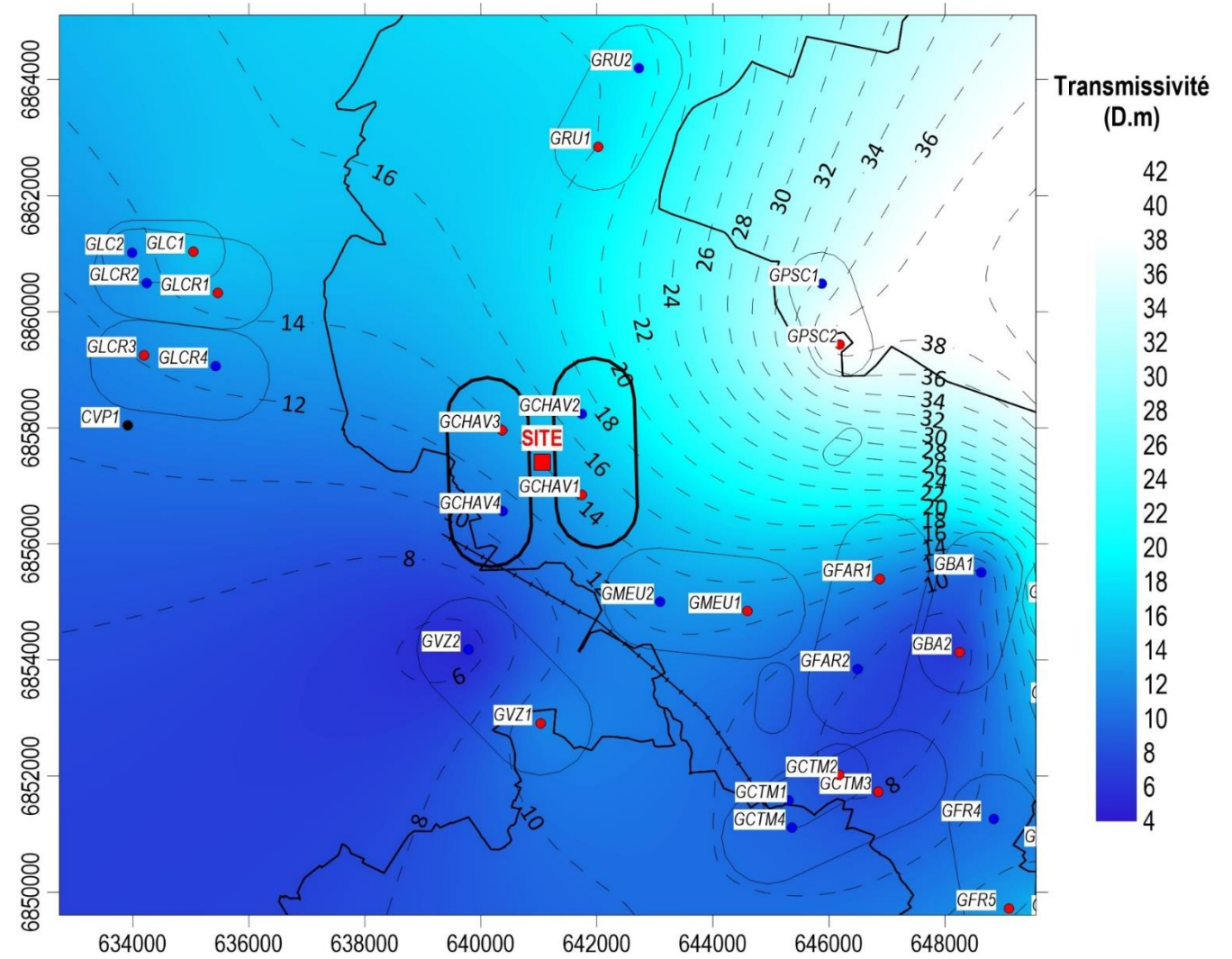
La conception prévoit :

- 4 forages subhorizontaux au Dogger
- 2 doublets géothermiques pour 2 x 350 m³/h attendu à 63°C
- 9 pompes à chaleur pour la rehausse de température



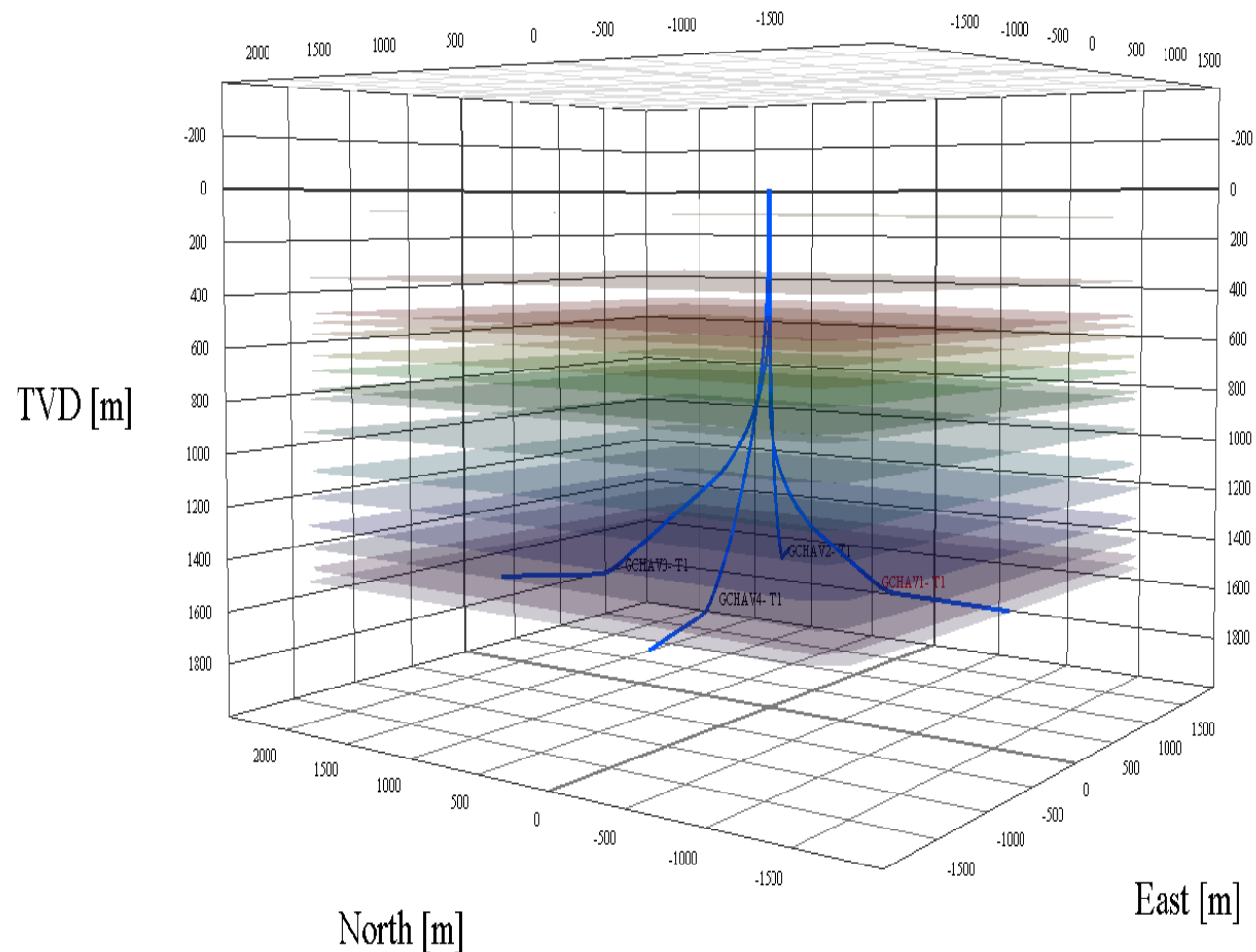
Le réservoir cible : le bathonien

- **Toit : -1370/-1390 m NGF** (Soit 1480/1500 m TVD)
Niveaux producteurs :
 - ➔ GCHAV1 : -1400/1461 mNGF
 - ➔ GCHAV2 : -1400/-1448 mNGF
 - ➔ GCHAV3 : -1389/-1442 mNGF
 - ➔ GCHAV4 : -1389/-1455 mNGF
- **Température : 63 +/-1 °C**
- **Porosité : moy. 15%**
- **Transmissivité : 10 à 18 D.m**
 - ➔ Nécessite une architecture spécifique au réservoir pour un atteindre un débit cible de 350 m³/h par doublet



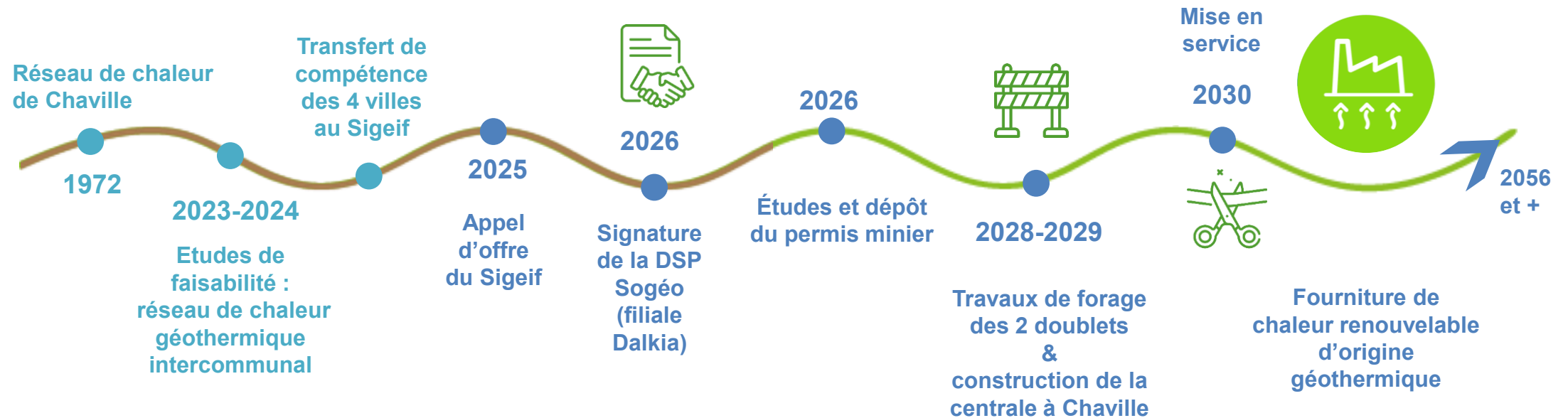
Architecture: 4 puits avec drains subhorizontaux

→ Meilleure solution technico-économique : deux doublets de forages avec drains sub-horizontaux de 800 m au réservoir



Vue 3D du quadruplet subhorizontal

Planning du projet de réseau de chaleur géothermique Sogéo

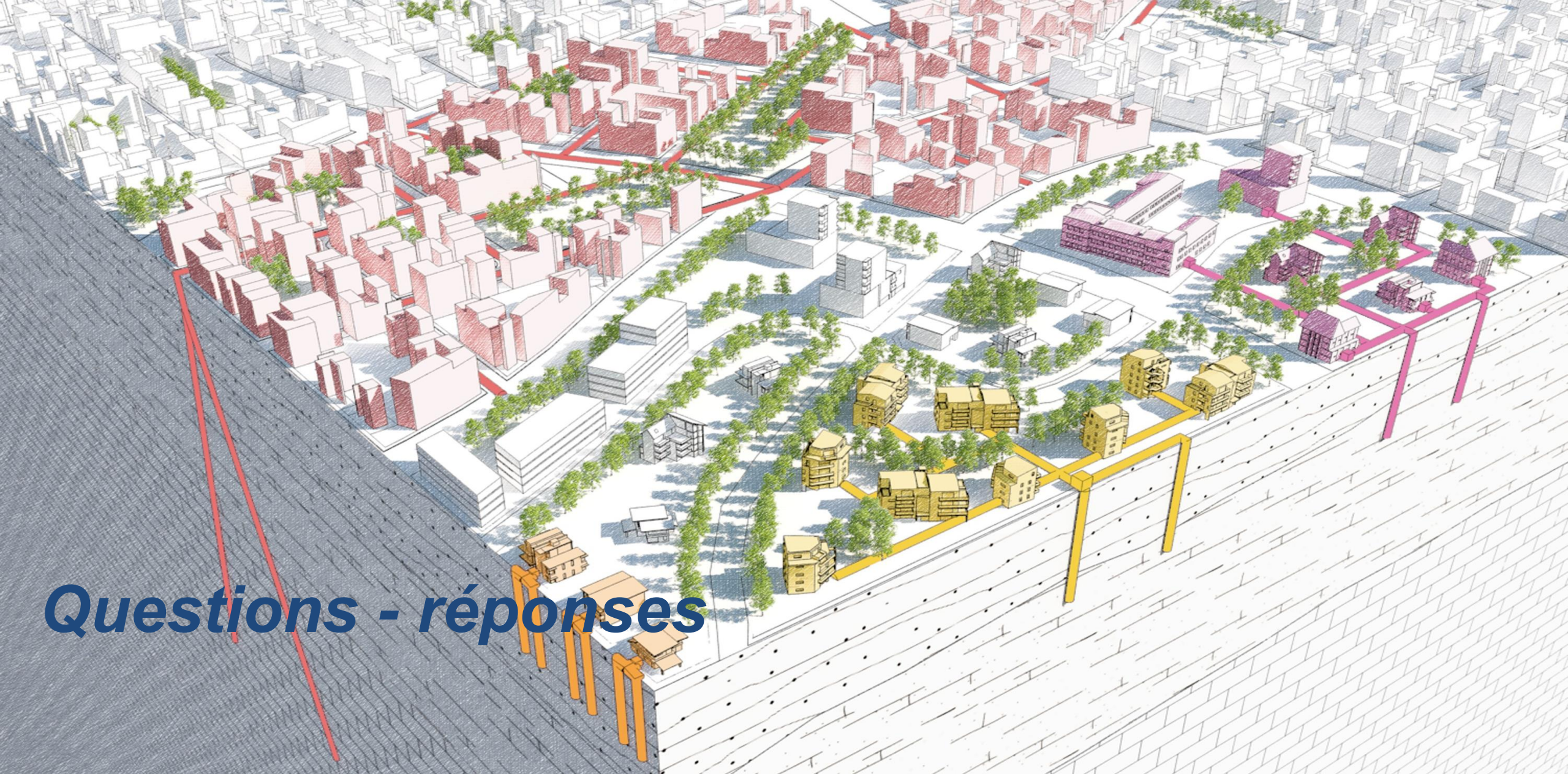




Merci de votre attention !

Restitution projet AMIGO – BRGM Orléans 30 septembre 2026





Questions - réponses



MERCI POUR VOTRE ATTENTION