

Facette opérationnelle du programme GEothermieS

Utilisation de la géothermie comme source d'énergie renouvelable



? Carole Nawratil de Bono

Géothermie SIG



Quelles étapes pour en arriver là?

Déroulement de la présentation

- ❓ Principes de base et contexte du programme GEothermieS
- ❓ Les enjeux opérationnels de la campagne sismique 3D et résultats
- ❓ Les enjeux opérationnels des forages
- ❓ Questions/réponses

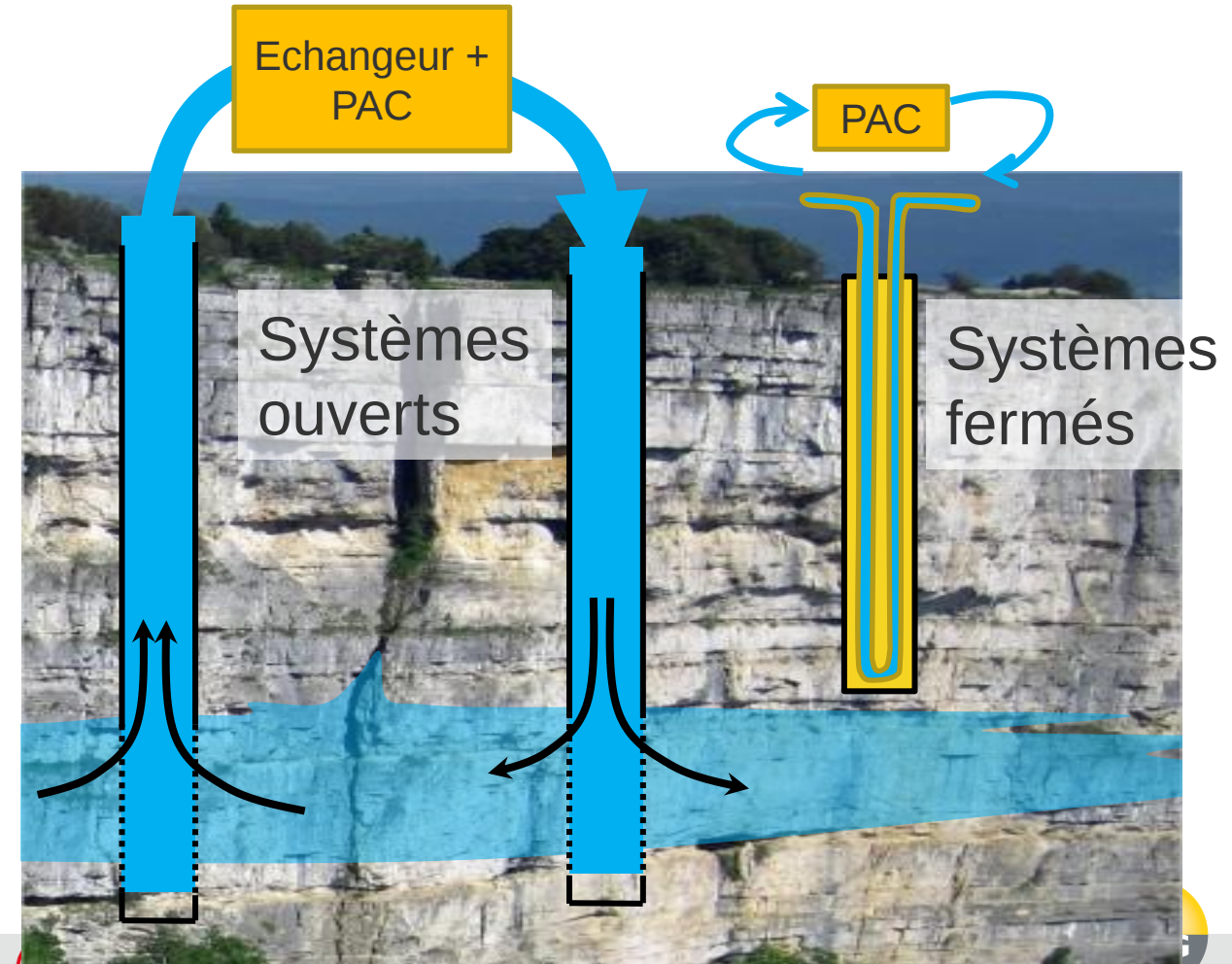
En préambule – qu'est-ce que l'on exploite?

Les nappes quaternaires (20 et 100 m)
Les aquifères plus profonds (500 – 2500 m)

- La quantité d'énergie extraite dépend de 2 paramètres:

$$\text{Puissance} = \text{débit} \times \text{delta } T^\circ$$

- Température : directement liée à la profondeur (env. 30 - 35°/ km d'enfouissement).
- Débit: lié à la quantité d'eau qui s'écoule. Pour des bons débits, il faut des roches poreuses ET perméables.



Buts et organisation du programme GEothermies

? Un développement massif et durable de la géothermie à l'échelle du territoire

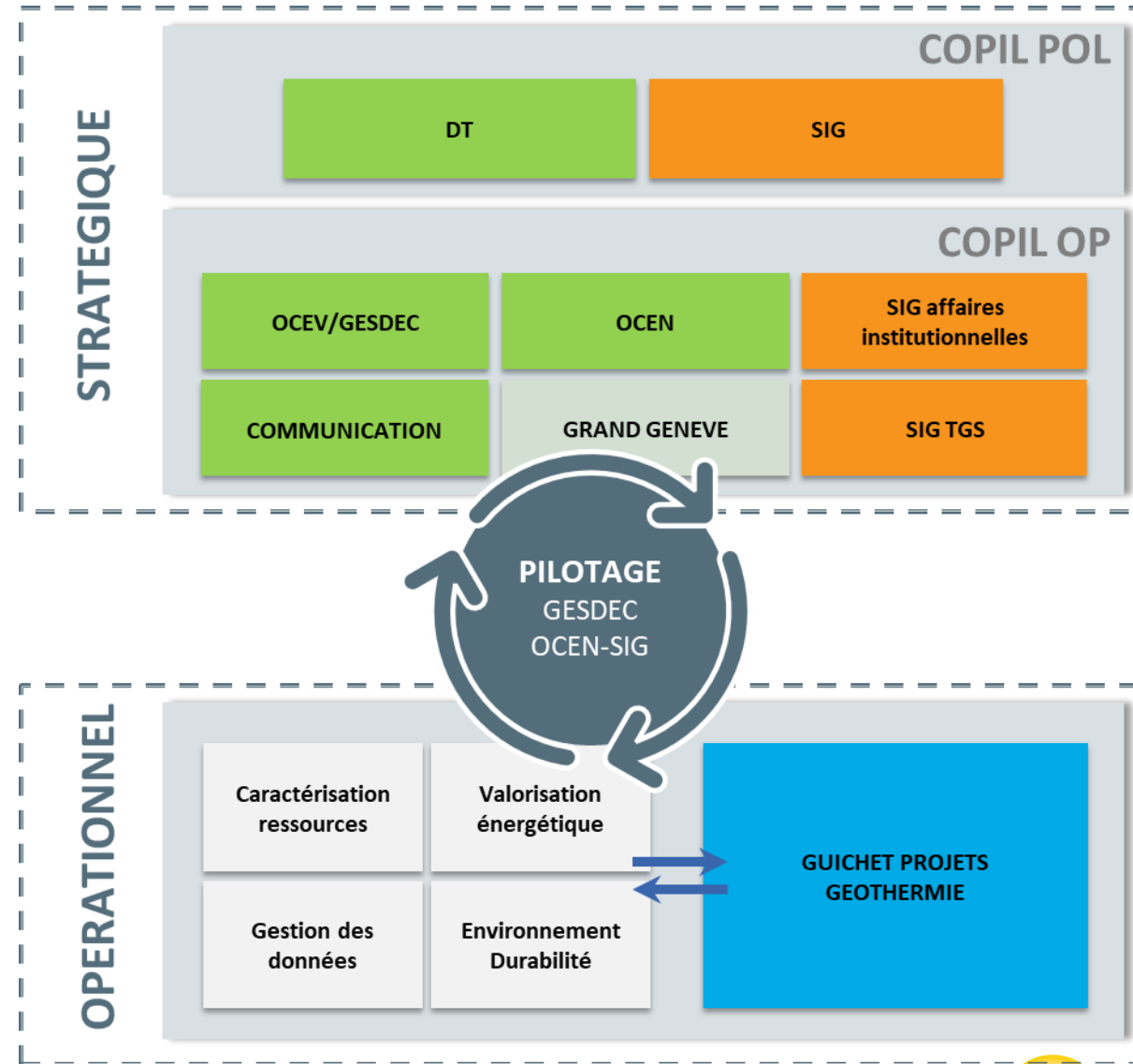
- **1 Ambition**
- **9 Axes stratégiques**



Buts et organisation du programme GEothermies

Une gouvernance du programme innovante

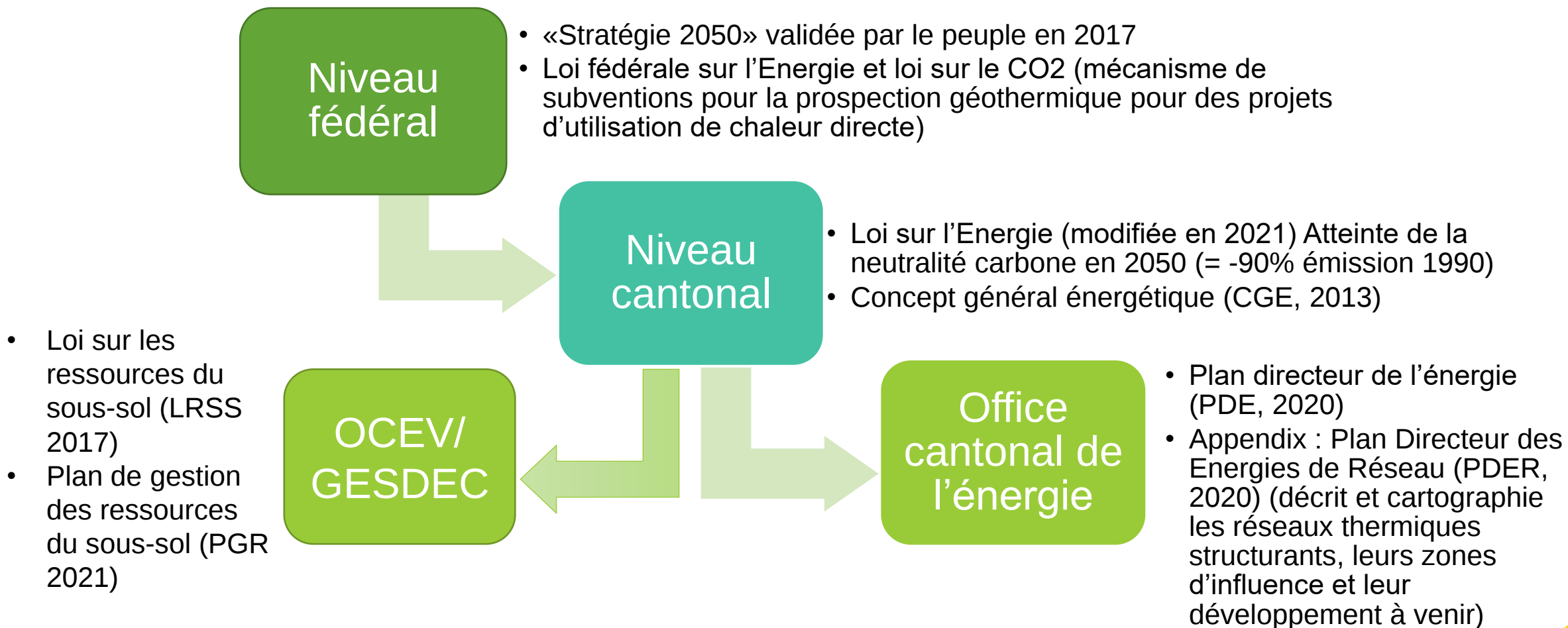
- La Convention de collaboration et lancement du programme a été signée en février 2014
- Une collaboration Etat de Genève/SIG avec un système de gouvernance innovant
- L'Etat pilote et coordonne, SIG finance et implémente grâce notamment aux «tâches d'intérêt public», à des subventions de la Confédération liées à la nouvelle loi sur le CO2 et à ses investissements propres



Cadre légal

❓ **Contexte énergétique et climatique en évolution : Révision des lois à l'échelle nationale et cantonale**

❓ **Input de l'association faîtière Geothermie.ch**



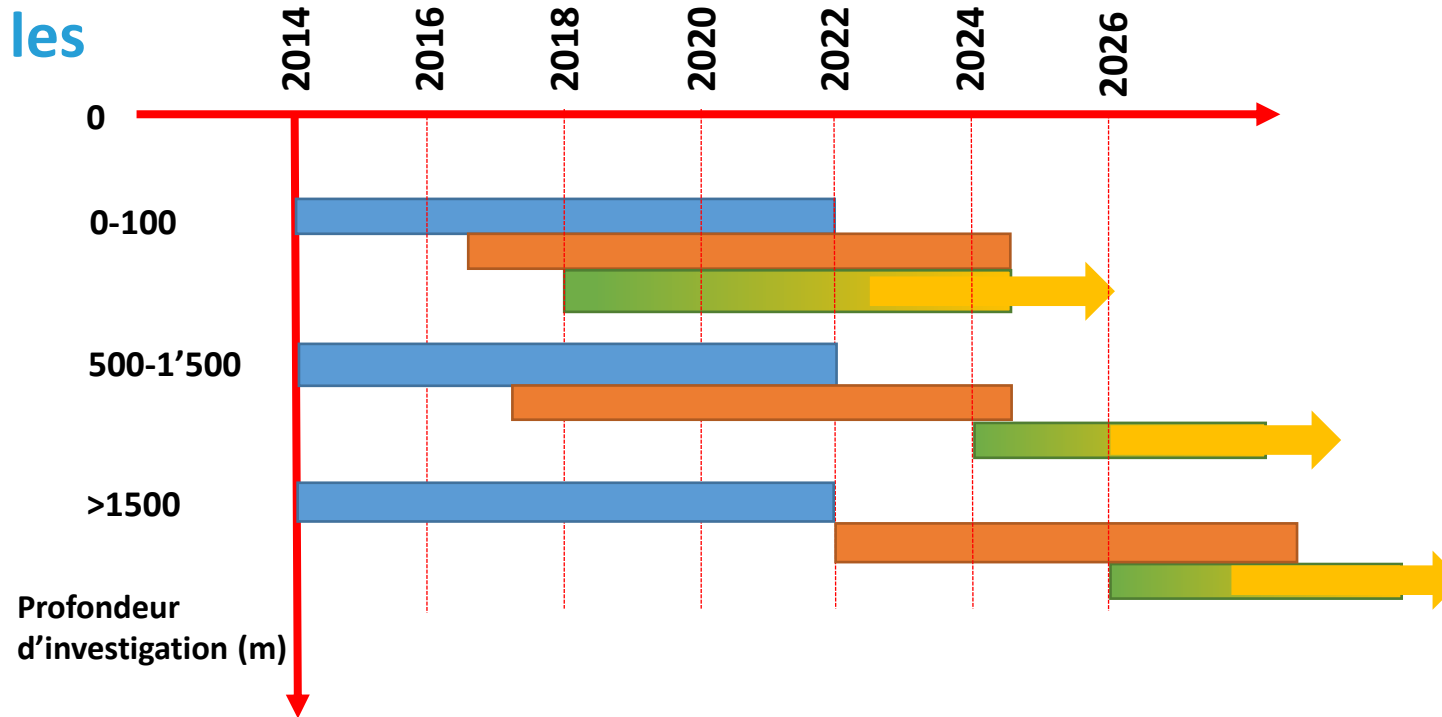
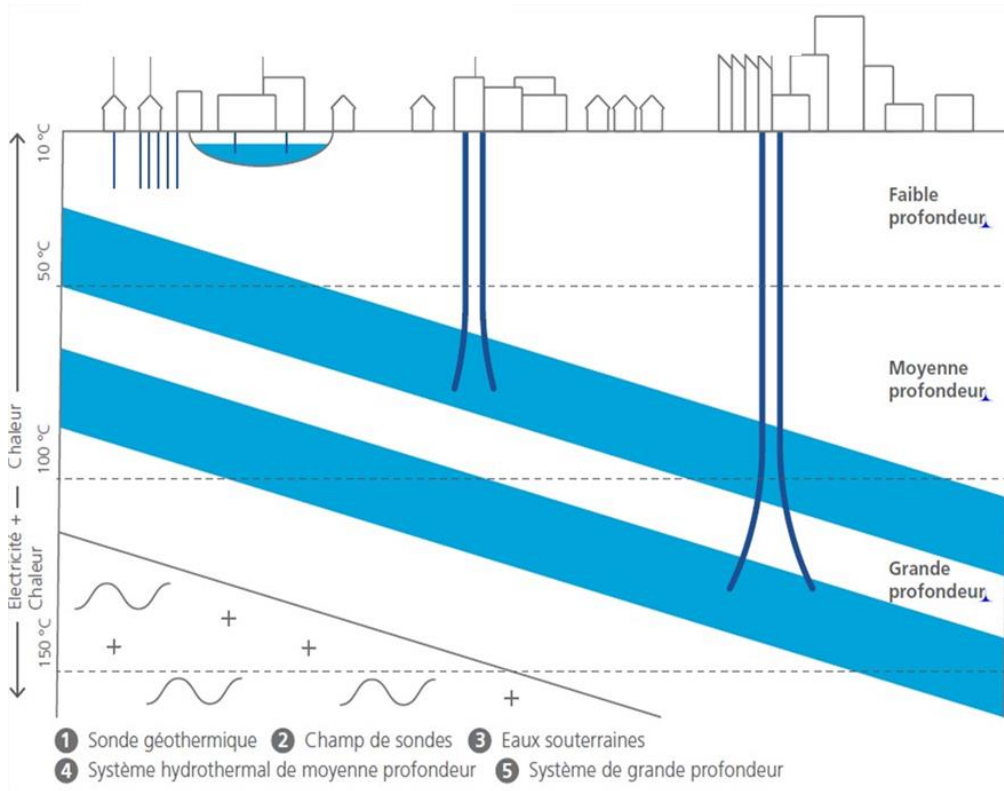


Le plan directeur mise également sur la géothermie pour atteindre les 1ers objectifs en 2030 :

- [?] Développement de la géothermie de moyenne profondeur**
 - 3 à 5 doublets pour fournir 150 GWh/an aux réseaux chauds
 - Développer la géothermie sur nappe de faible profondeur
- [?] Stockage d'énergie dans le sous-sol**
 - Développer des projets pilotes et industriels
- [?] Développer les réseaux de chaud/froid**

Planification

GEothermies : Un développement par petits pas... (pour limiter les risques, malgré les urgences)



Etudes / Géophysique

- Prospection préliminaire
- Prospection détaillée

Forages / Tests

- Prospection détaillée
- Exploration

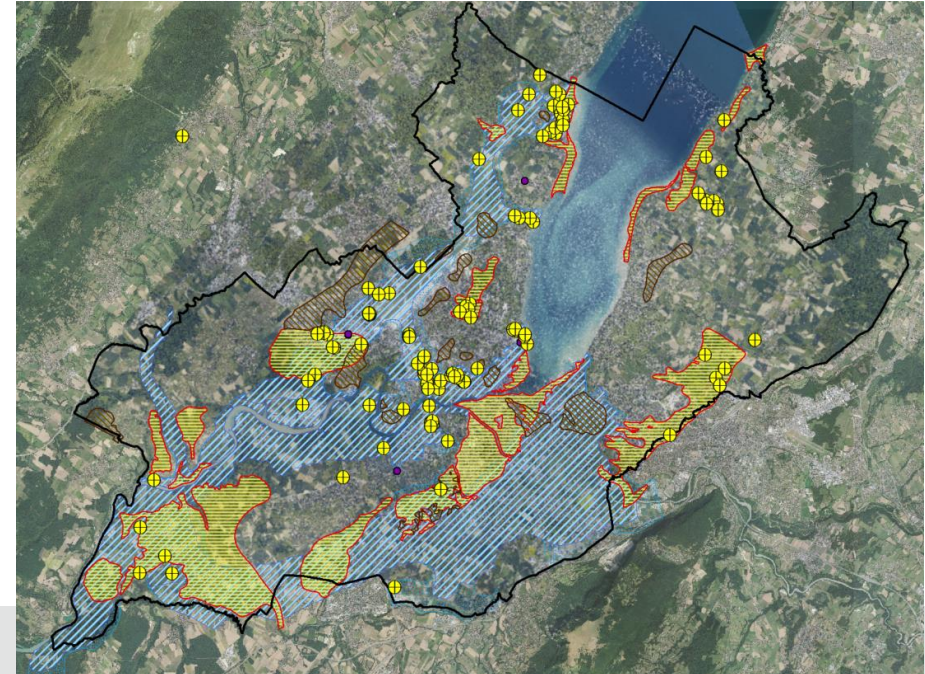
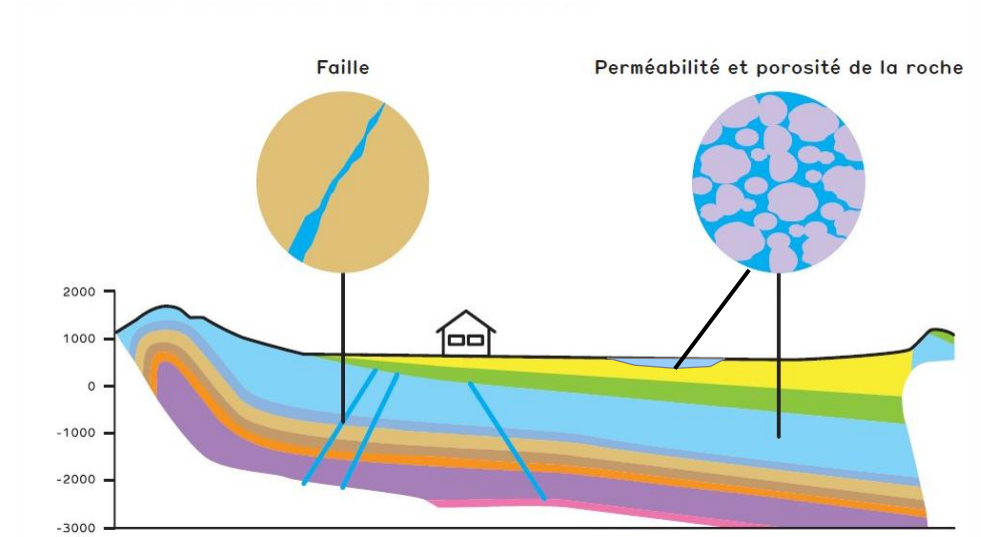
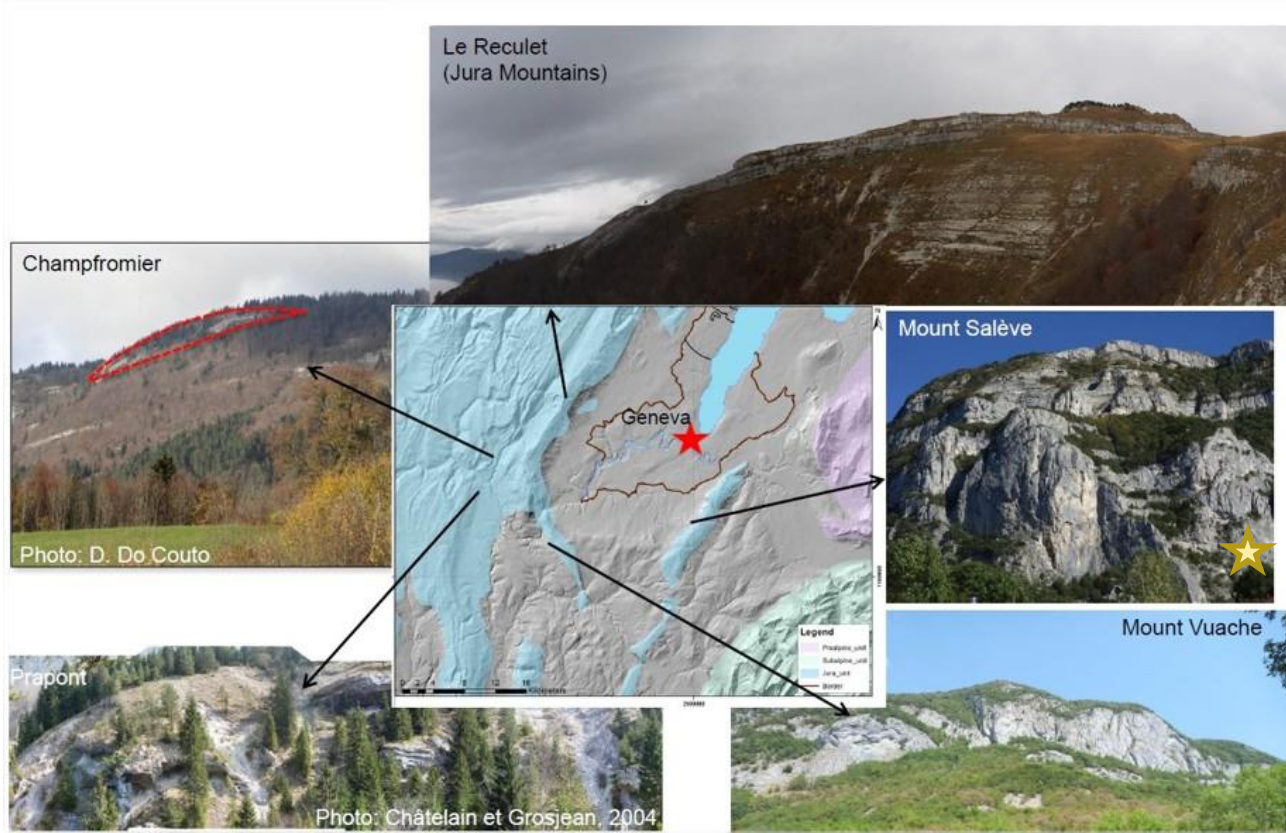
Exploitation

- Pilote
- Classique



Revenons aux bases: Genève et son contexte géologique

L'eau doit pouvoir circuler dans des roches!! ...Et d'où vient cette eau et où va-t-elle?



Comment savoir si la région est propice à la géothermie?

❓ Des indices favorables existent sur un site

- Sources thermales parfois documentées
- Forages préalables existant
- Gradient géothermique élevé parfois reconnu

❓ Moins de 1 % de la surface du territoire helvétique

❓ Aucun indices de surface permettant d'identifier les sites favorables n'existent

- Collecte d'informations à effectuer
- Exploration complémentaire nécessaire
- Modélisation nécessaire
- Forages d'exploration à réaliser

❓ Plus de 99 % de la surface du territoire helvétique



Indices de surface

Exemple des Bains de la Caille

eau sulfureuse à 30°C

LES EAUX MIRACULEUSES

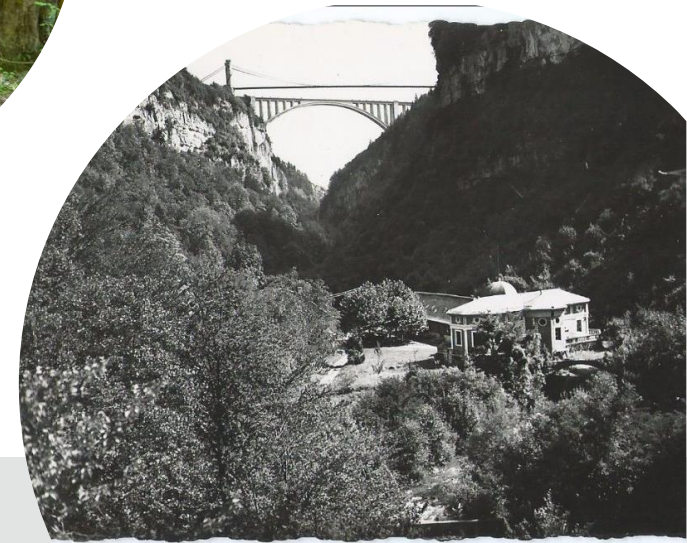
Au fond des gorges des Ussets, plusieurs sources thermales jaillissent des roches côte-à-côte. Les vestiges d'anciens thermes datant de l'Antiquité indiquent que leurs propriétés curatives étaient déjà connues des Romains. Il est nécessaire d'attendre l'année 1801 pour que le naturaliste géologue Albanis Beaumont conduise une commission scientifique qui constatera leur valeur thérapeutique.

Dès lors, les eaux de La Caille acquièrent une certaine notoriété et attirent de nombreux baigneurs. Mais, le sentier qui conduit au site demeure impraticable pour les malades et les vieillards. La mise en service du Pont Charles-Albert incite le chanoine Croset-Mouchet d'Annecy-le-Vieux, devenu propriétaire, à conforter un véritable établissement thermal ainsi qu'une route carrossable en rive gauche, permettant de descendre au fond des gorges. L'inauguration aura lieu le 23 mai 1854, douze ans après l'ouverture des bains.

Une importante clientèle genevoise s'y rend alors en calèche, fiacre ou à cheval et un service spécial de transport en commun propose un arrêt au poste d'octroi à Allonzier la Caille. Là, un char attelé attend les curistes et leurs bagages pour les descendre aux bains.

LES BAINS DE LA CAILLE

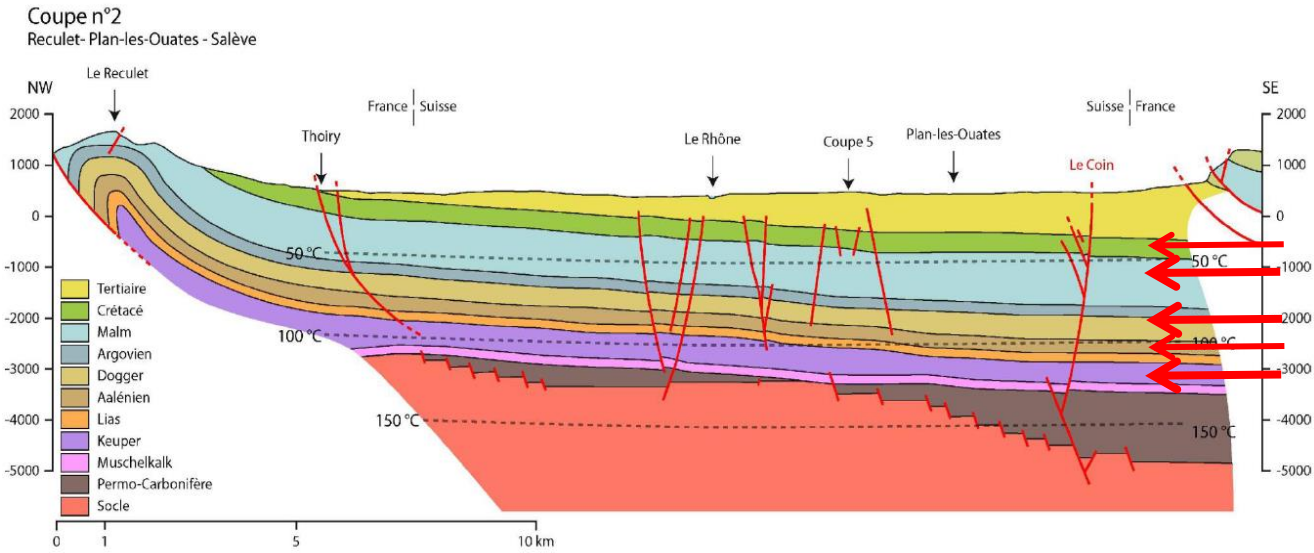
Dès 1853, la capacité d'accueil de la station thermique est de 128 lits. La luxueuse infrastructure de l'époque comprend plusieurs résidences à deux étages, un vaste restaurant, des salons chics, des piscines couvertes, des bassins extérieurs, des cabines de bains, une petite chapelle, des écuries, et un bâtiment administratif qui sera baptisé plus tard « Le Casino ». Sur la rive gauche, la maison appelée « Château » est reliée aux trois autres bâtiments par un petit pont. Le rez-de-chaussée accueille douze cabinets de bains et un bassin où la source principale jaillit. De l'autre côté de la rivière des Ussets, se dresse la maison des « Galeries », deux belles galeries en bois ornant sa façade. L'édifice est raccordé à la seconde source par un conduit en zinc qui traverse le torrent. Le plain-pied est équipé de quinze cabinets dédiés aux bains vapeurs et aux douches écossaises. Face à la maison des Galeries, se trouve le grand restaurant aux 150 couverts. Entre les deux bâtiments, la cour plantée d'arbres offre un espace de détente aux curistes : jeux de palets, de boules, de quilles... La dernière maison dite « du Bosquet » abrite un salon de divertissement, ainsi que des chambres à l'étage, comme dans les autres bâtiments. Autant d'installations, aujourd'hui en ruine, qui apportaient confort et bien-être tout au long de la cure qui durait ordinairement 21 jours.



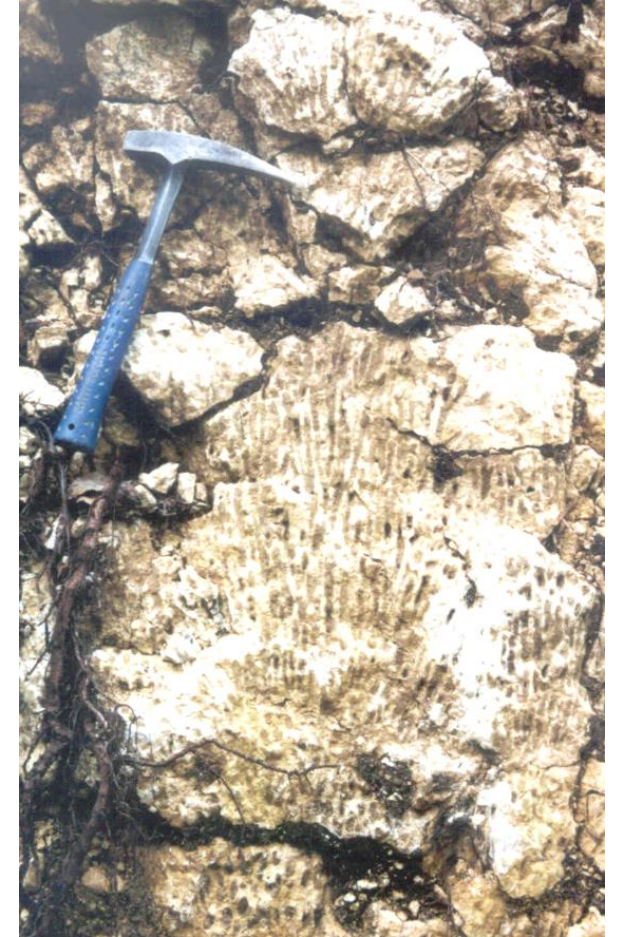
En activité entre 1848
et 1960

Autre indice?

Aquifères profonds connus ailleurs dans les mêmes roches que les «nôtres»

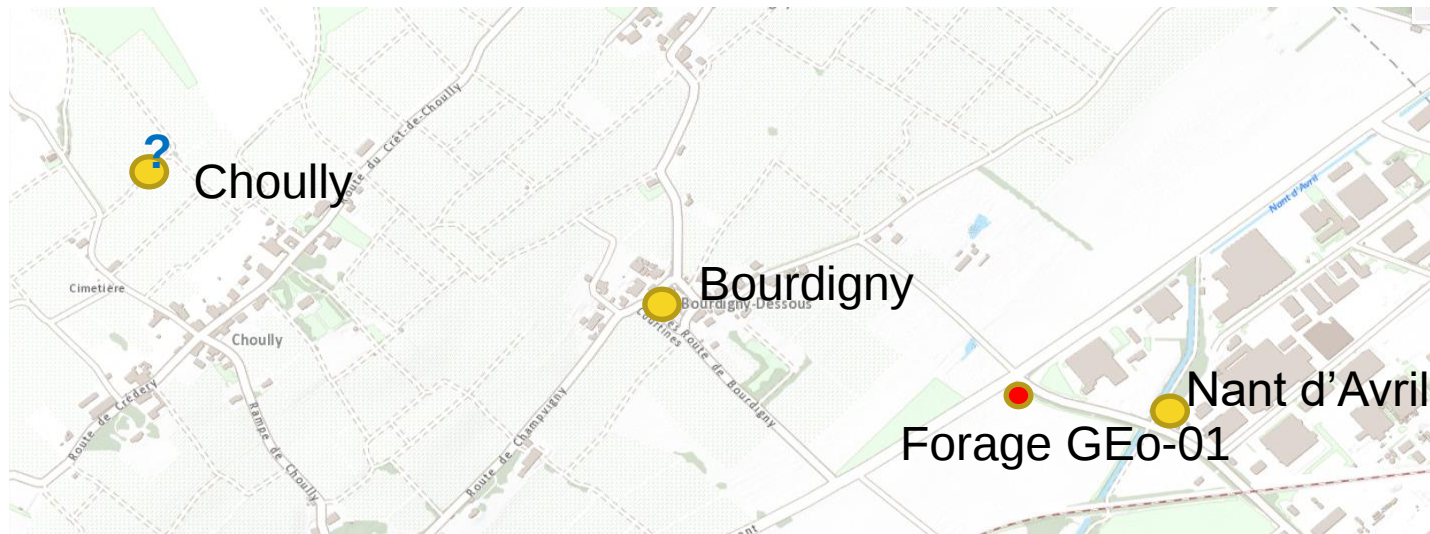


Riehen
Yverdon les Bains
Baden

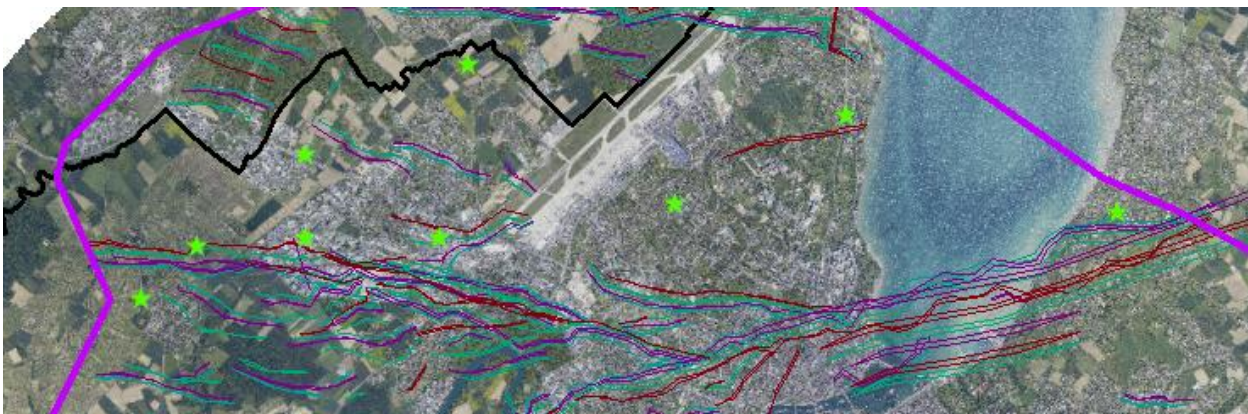


Autres indices? Évidemment insuffisants mais indicateurs intéressants!

? Position des sources séléniteuses historiques en alignement le long d'une faille traversée par le forage

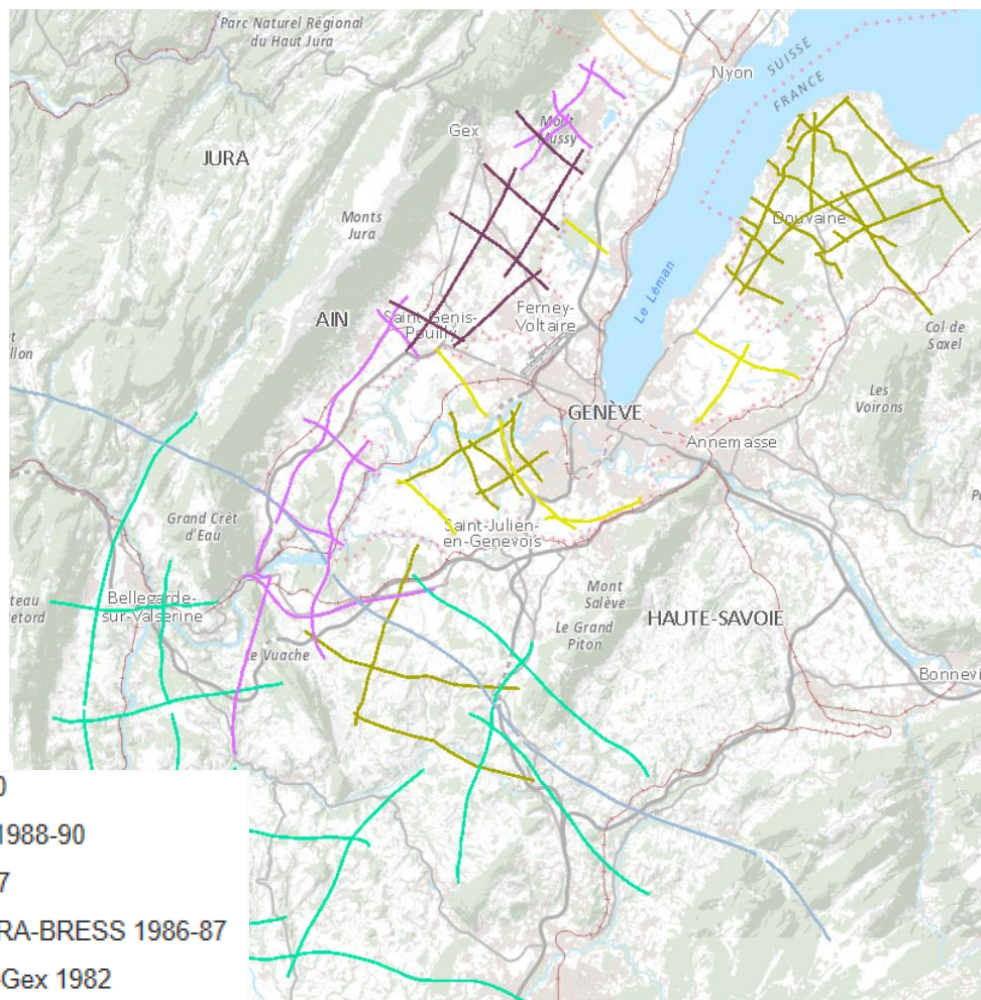


? Position de venues de gaz dans des sondes géothermiques le long d'axes supposés

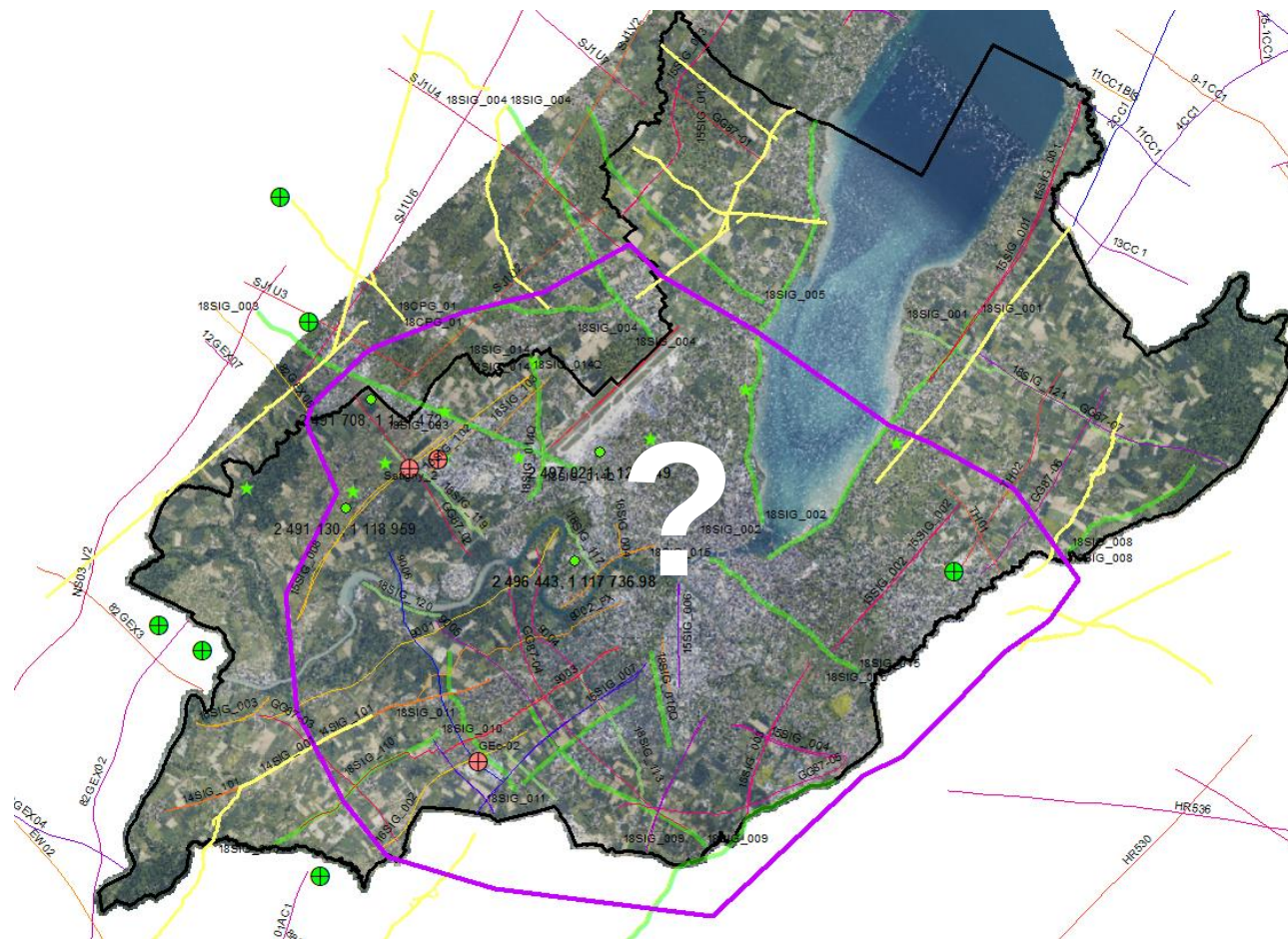


Comment trouver ces informations dans le sous-sol

Amélioration de la couverture sismique car il restait des trous dans la raquette!

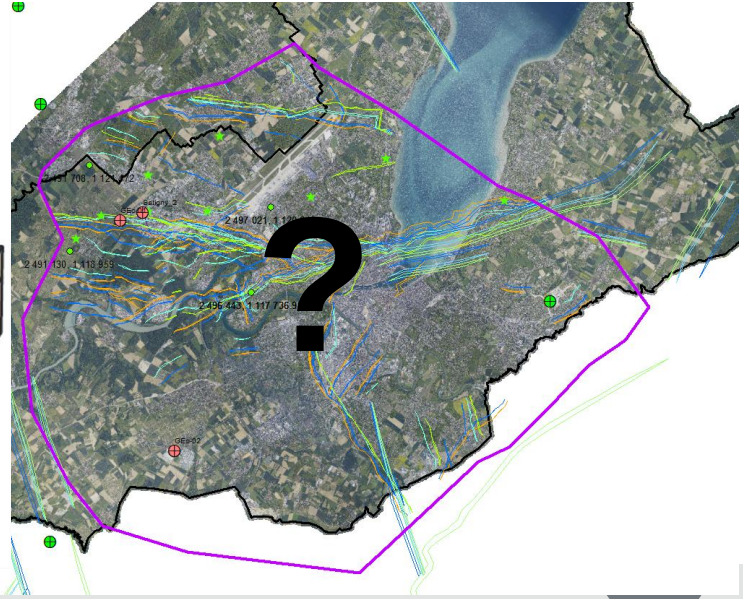
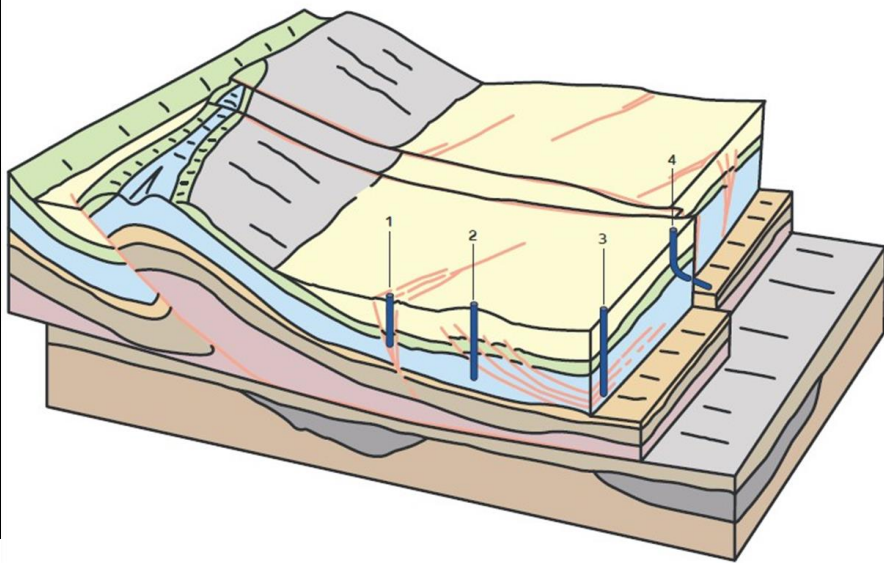
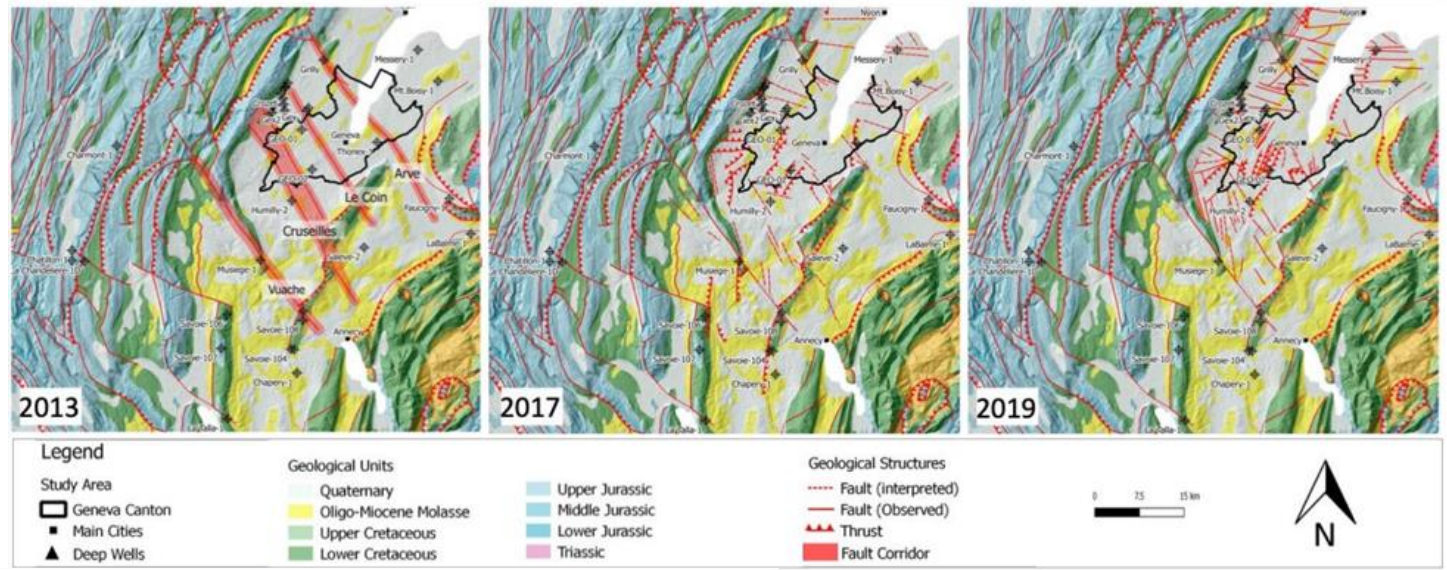
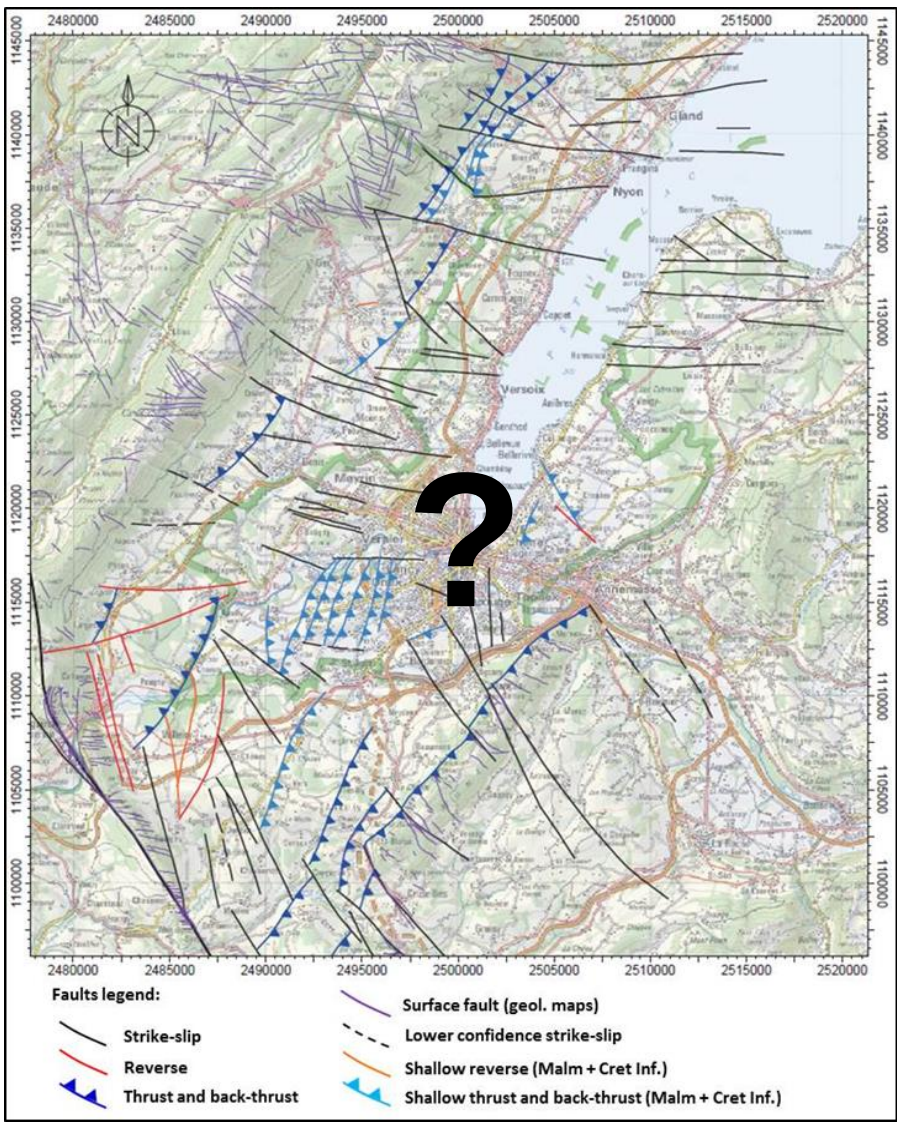


Situation en 2010



Situation actuelle

Evolution des interprétations des données structurales – Connaître la réalité pour réduire les risques et forer au bon endroit



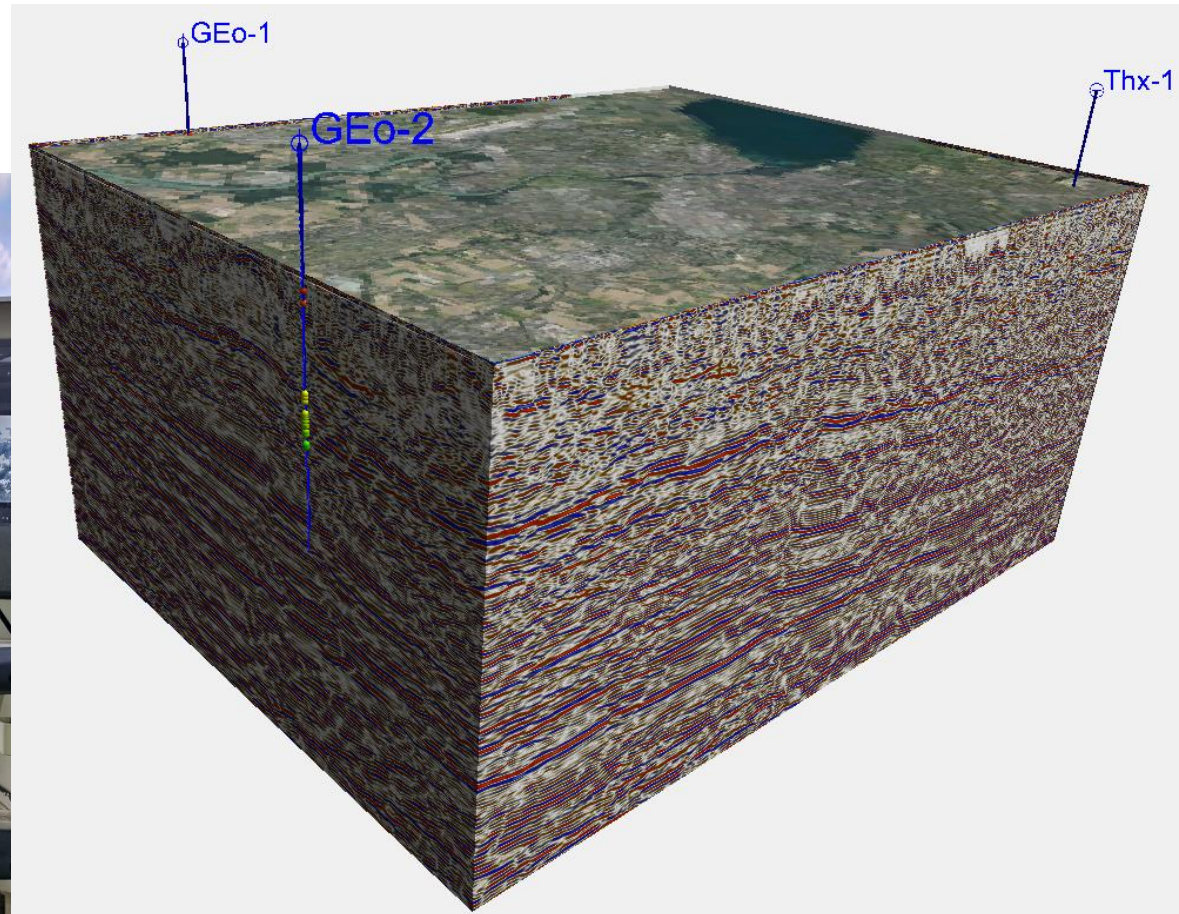
Nécessité d'avoir une vision continue du sous-sol

Lancement en 2019 du projet d'une campagne sismique 3D

- ❓ **Disposer d'une image continue du sous-sol sur l'ensemble de la zone urbanisée du canton**
- **Identification des cibles géologiques propices au développement de la ressource géothermale (zones faillées), de manière exhaustive en tous points du territoire investigué**
- **Planification des futurs forages de production/injection**
- ❓ **Mise en adéquation entre la ressource (cibles géologiques) et les besoins (proximité des consommateurs / Réseaux Thermiques Structurants)**
- ❓ **Point de bascule vers l'industrialisation du développement de la géothermie à Genève**

Campagne d'acquisition sismique 3D à Genève

Retours et premiers résultats



La campagne sismique 3D

Données clés des opérations d'acquisition



5 semaines de campagne entre septembre et octobre 2021

187 km² (Suisse/France)

19'000 parcelles visitées (10'000 propriétaires)

Capteurs déployés sur **65'000** points (**22 000** simultanés)

210'600'000 traces enregistrées

38'000 points vibrés

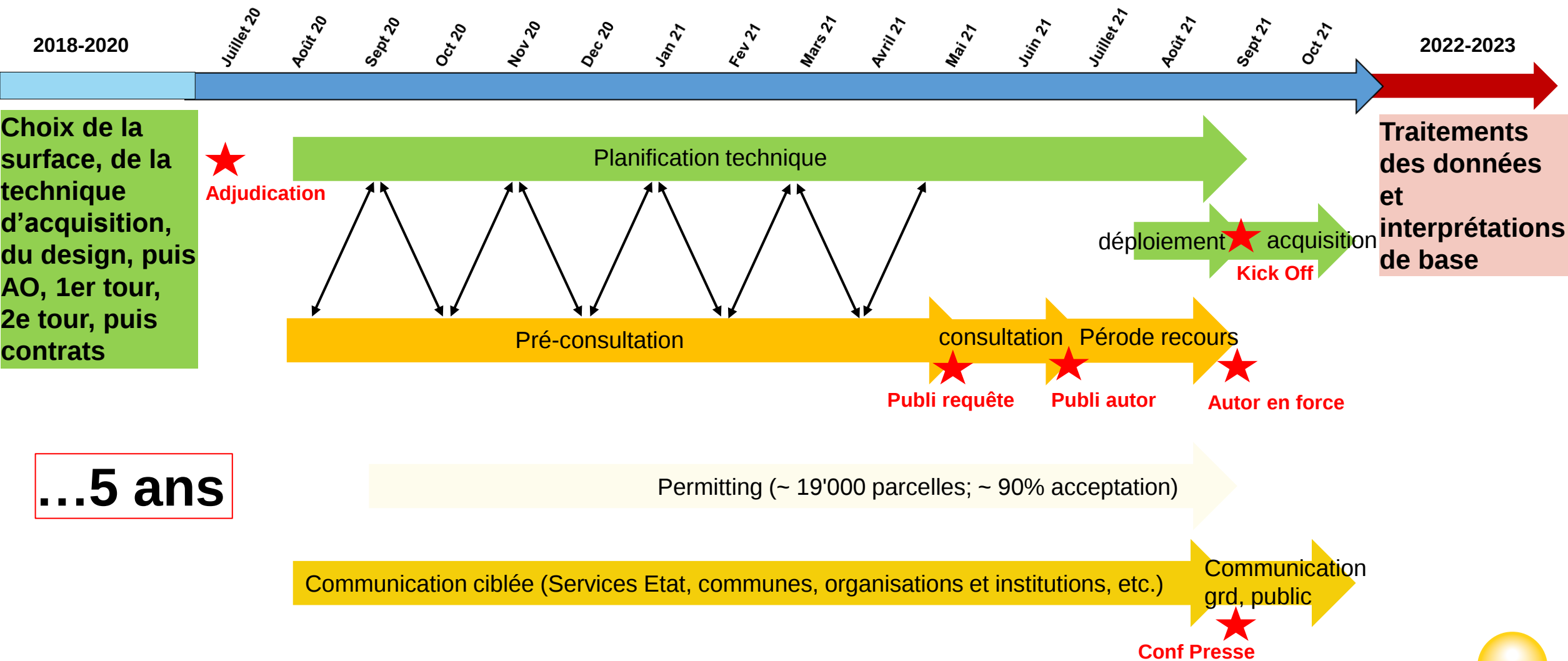
200 personnes sur le terrain chaque jour et jusqu'à **11** camions simultanément

Plus de **100 To** de données brutes récoltées

Coût: **15 mios** (subventions fédérales 60%)

Pré-consultation - Planification technique – gestion de la donnée

3 ans de préparation – 4 mois d’opération - 10 mois de traitement avant la livraison des données – 6 mois d’interprétation de base



...5 ans

Démarches préparatoires

? **Planification technique: Tracés, paramètres d'acquisition, matériel, organisation, etc.**

? **Permitting: Autorisation d'accès aux parcelles privées et domaines publics**

? **Communication: Différentes formes**

? **Autorisation de prospection (LRSS):**

Art. 10 Autorisation de prospection

¹ L'autorisation de prospection porte notamment sur :

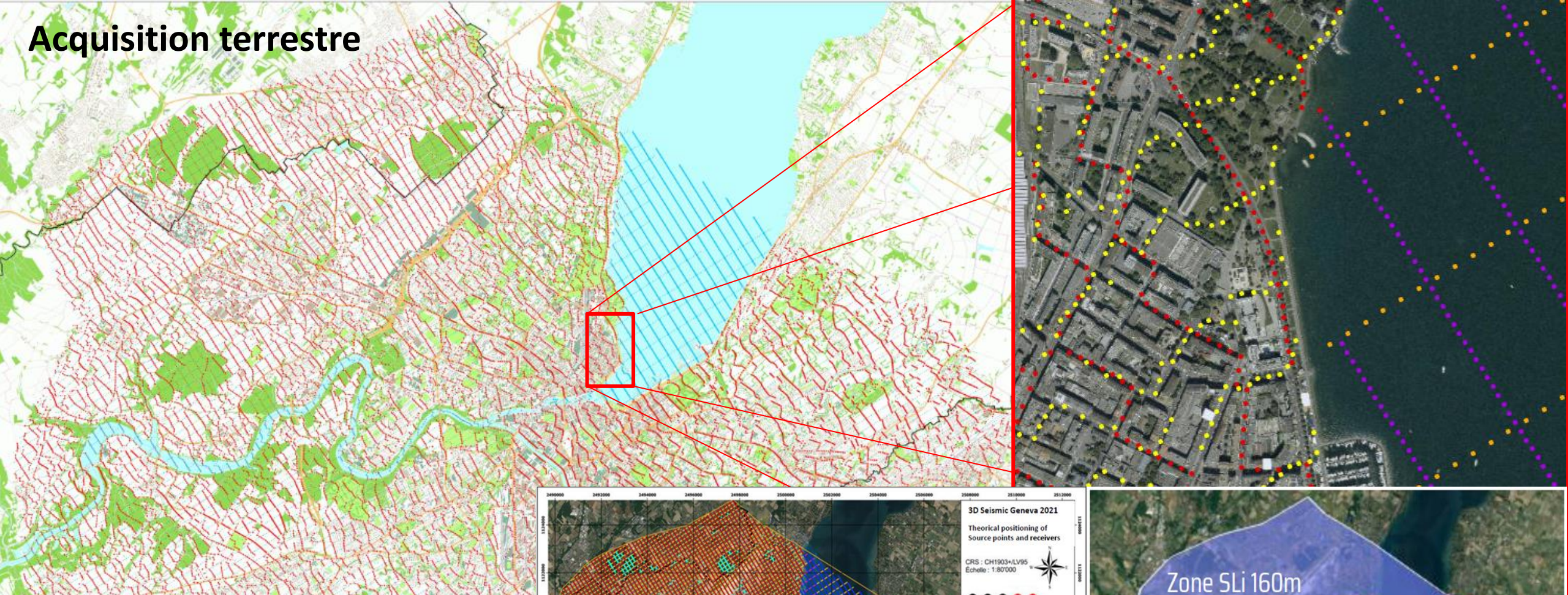
- a) le périmètre de prospection;
- b) la durée de la prospection;
- c) les modalités et les méthodes de prospection appliquées;
- d) les charges et les conditions définies par le département.

² L'autorisation de prospection est publiée dans la Feuille d'avis officielle.

? **Le DT (GESDEC):**

- Réceptionne la requête en autorisation de prospecter
- Coordonne et rassemble les préavis des services concernés
- Délivre l'autorisation de prospecter

Acquisition terrestre



Source points (NO-SE)

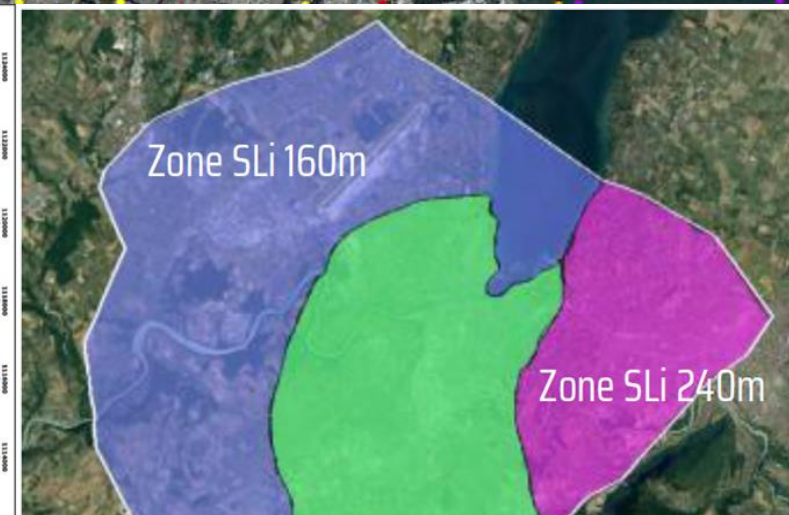
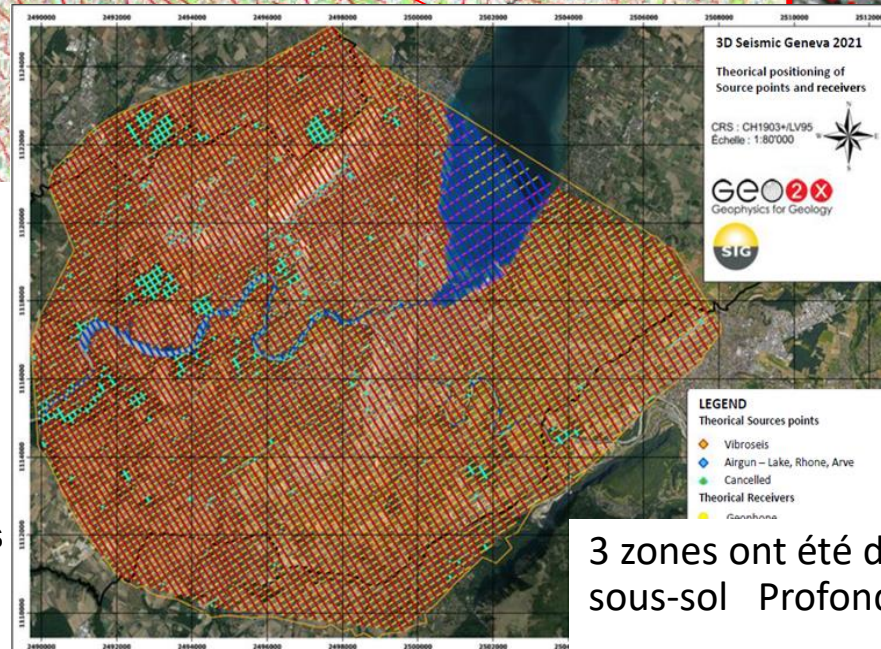
- Intertirs: 20m
- Interlignes: 160-200-240m

Geophone (SO-NE)

- Intertrace: 20 m
- Interline: 160m

Placements adaptés en fonction des contraintes

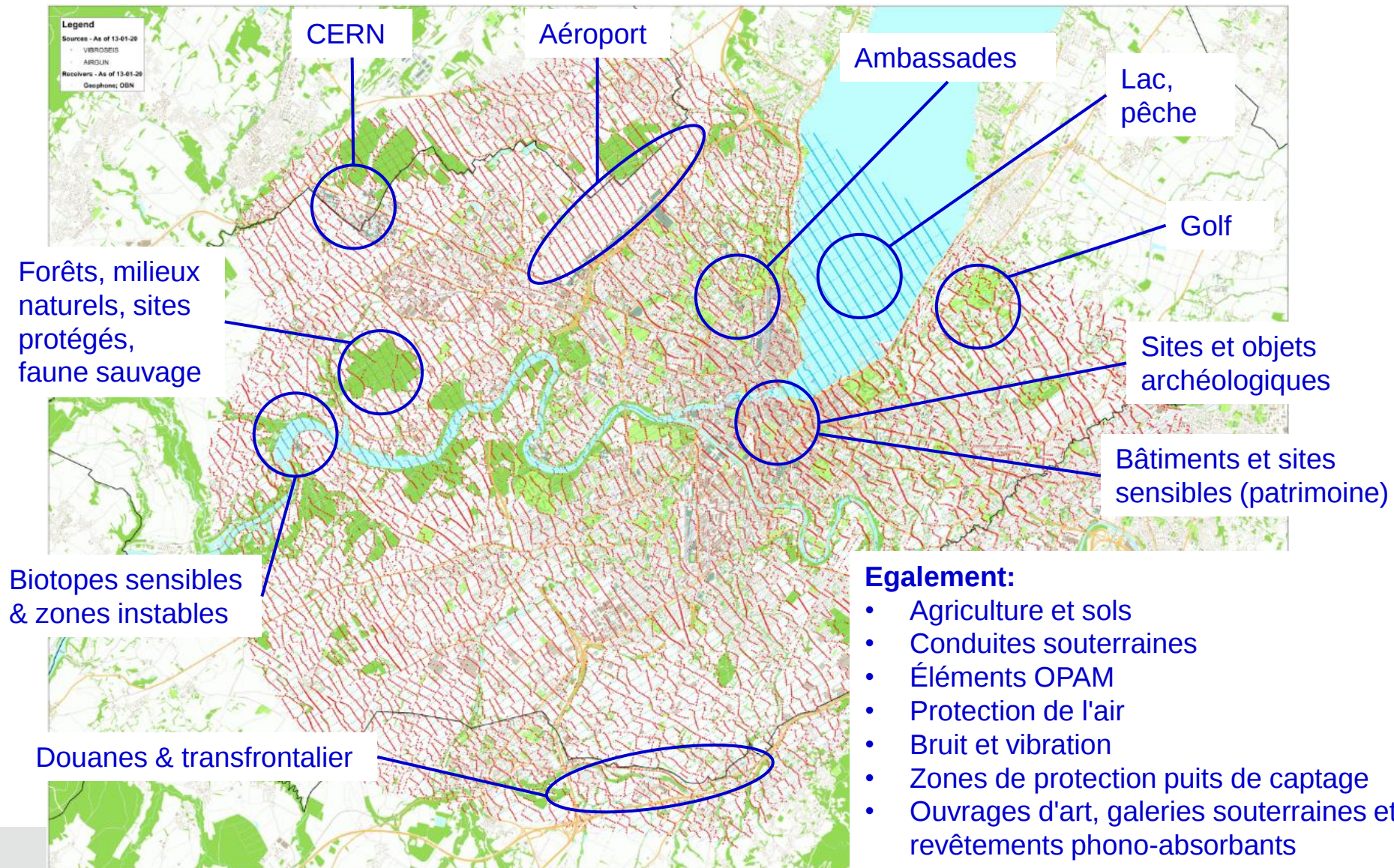
- Accès
- Zones sensibles



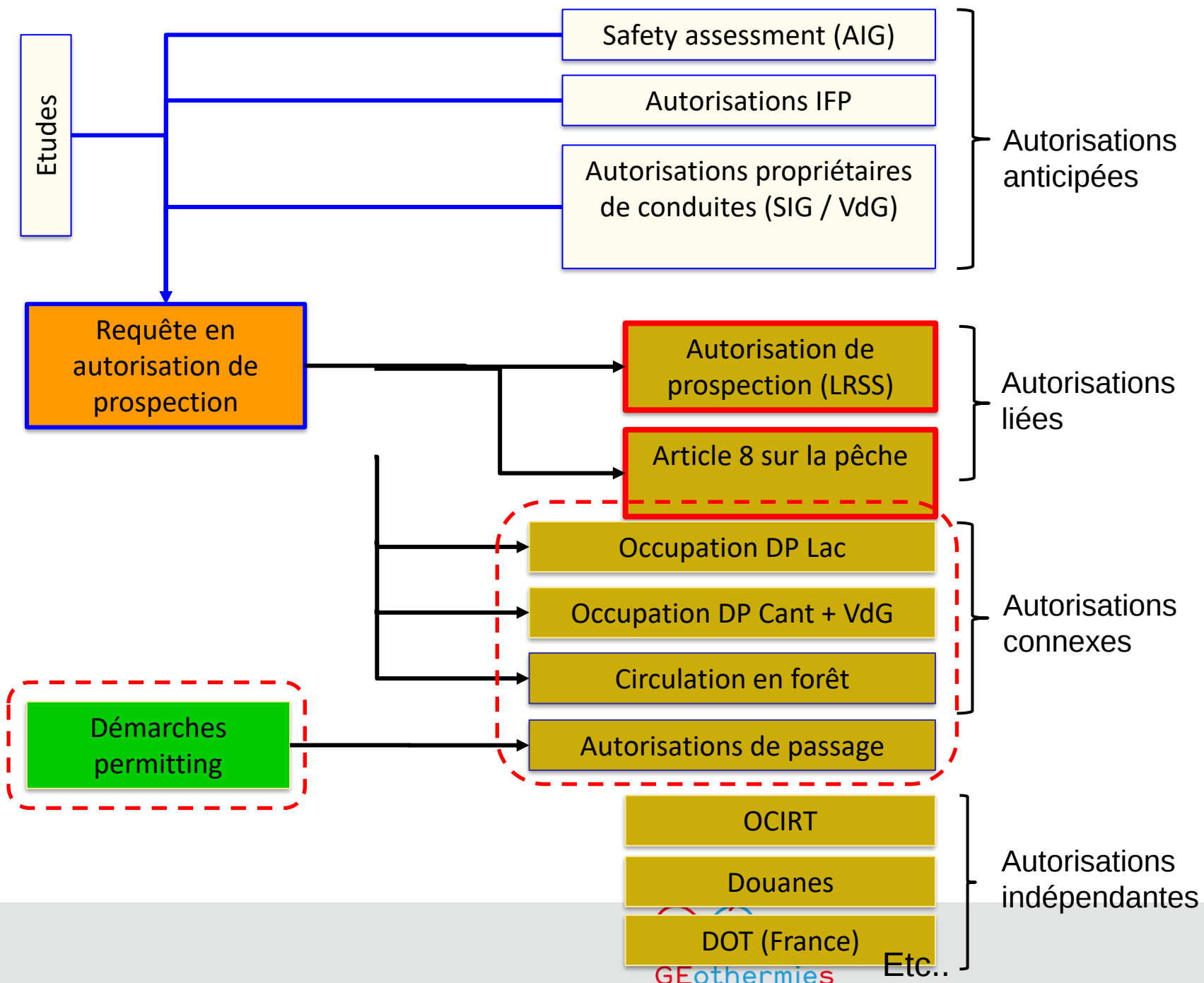
3 zones ont été définies à cause de la pente des couches du sous-sol Profondeur entre : 400 – 5000 m

Identification des contraintes et complexités territoriales

? Pour anticiper les procédures nécessaires

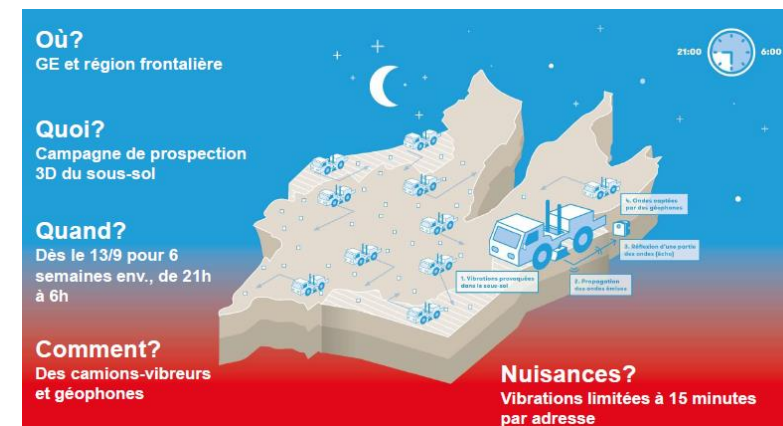


Processus



Actions de communication

- **Envoi d'un courrier** aux Genevoises et Genevois dès le 1.09.21
- Immersion dans le sous-sol Genevois : **vivez l'expérience en 3D !**
 - **Stand information** fixe sur l'esplanade d'Uni-mail et journée portes ouvertes au public le **18 septembre 2021**



Cabanon à Unimail et hotline

- Carte interactive sur le planning de passages des camions vibreurs sur www.geothermies.ch
- Passage du **triporteur** dans les communes genevoises
- **Campagne d'affichage** rues, gares CEVA, TPG



Acquisition terrestre



AHV IV (26t.)



M12 - HEMI 48 (21t.)



PRAKLA (17t.)



ENVIROVIB (12t.)

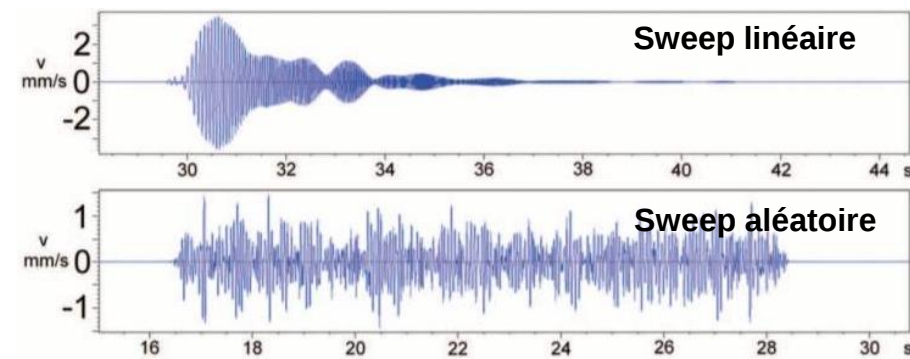


Géophones

- Sercel – WING
- Non-câblés
- ~22'000 engagés

Vibrateurs

- Différentes tailles/poids adapté aux terrains
- Technologie novatrice "Sweep aléatoire" pour limiter les nuisances et augmenter la productivité (technologie SRS brevetée)
- Durée de tir: 60s.



Répartition des types de sources en fonction des sensibilités

AHV IV (26t.)



M12 – HEMI 48 (21t.)



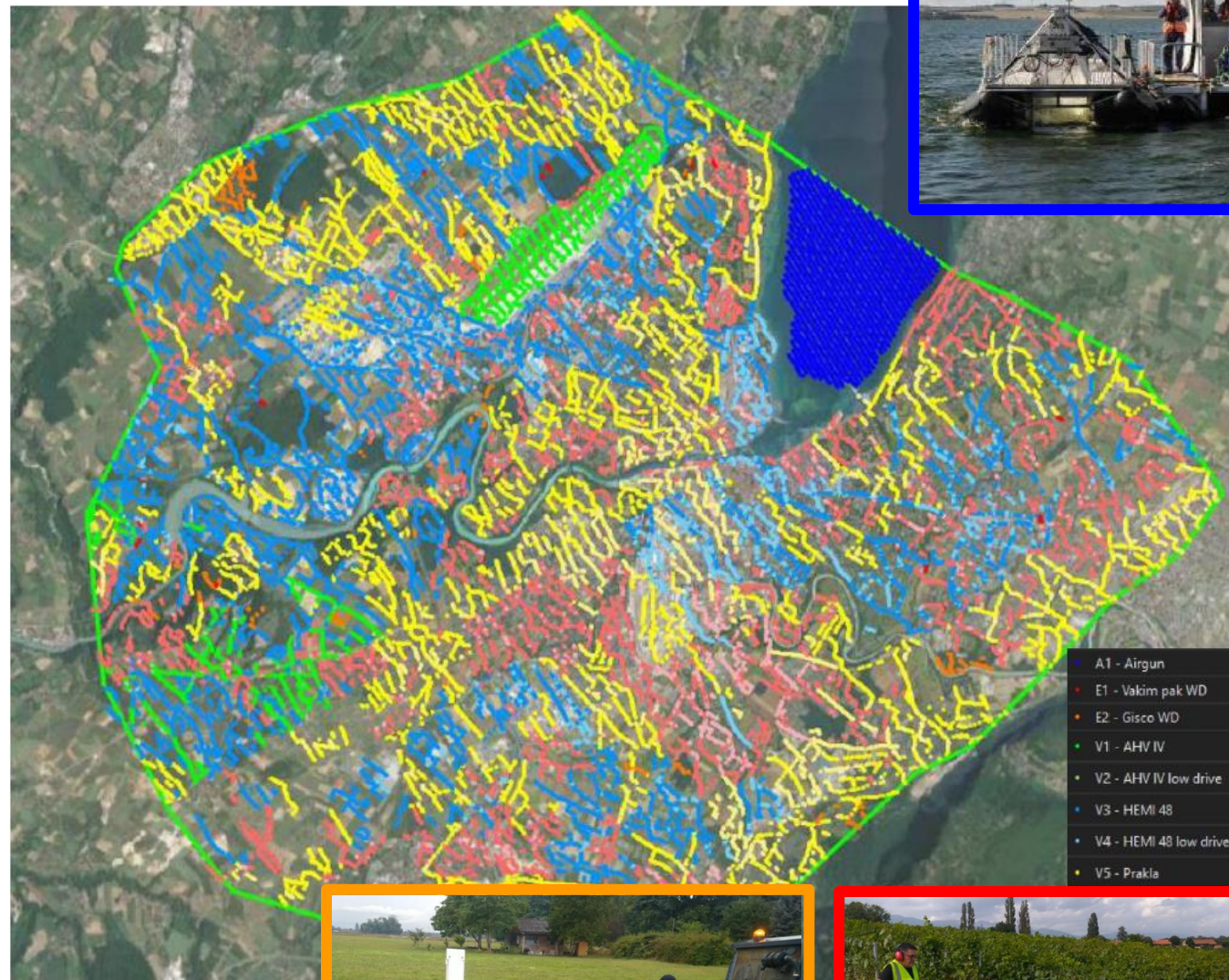
PRAKLA (17t.)



ENVIROVIB (12t.)



Airgun (lac)



- A1 - Airgun
- E1 - Vakim pak WD
- E2 - Gisco WD
- V1 - AHV IV
- V2 - AHV IV low drive
- V3 - HEMI 48
- V4 - HEMI 48 low drive
- V5 - Prakla

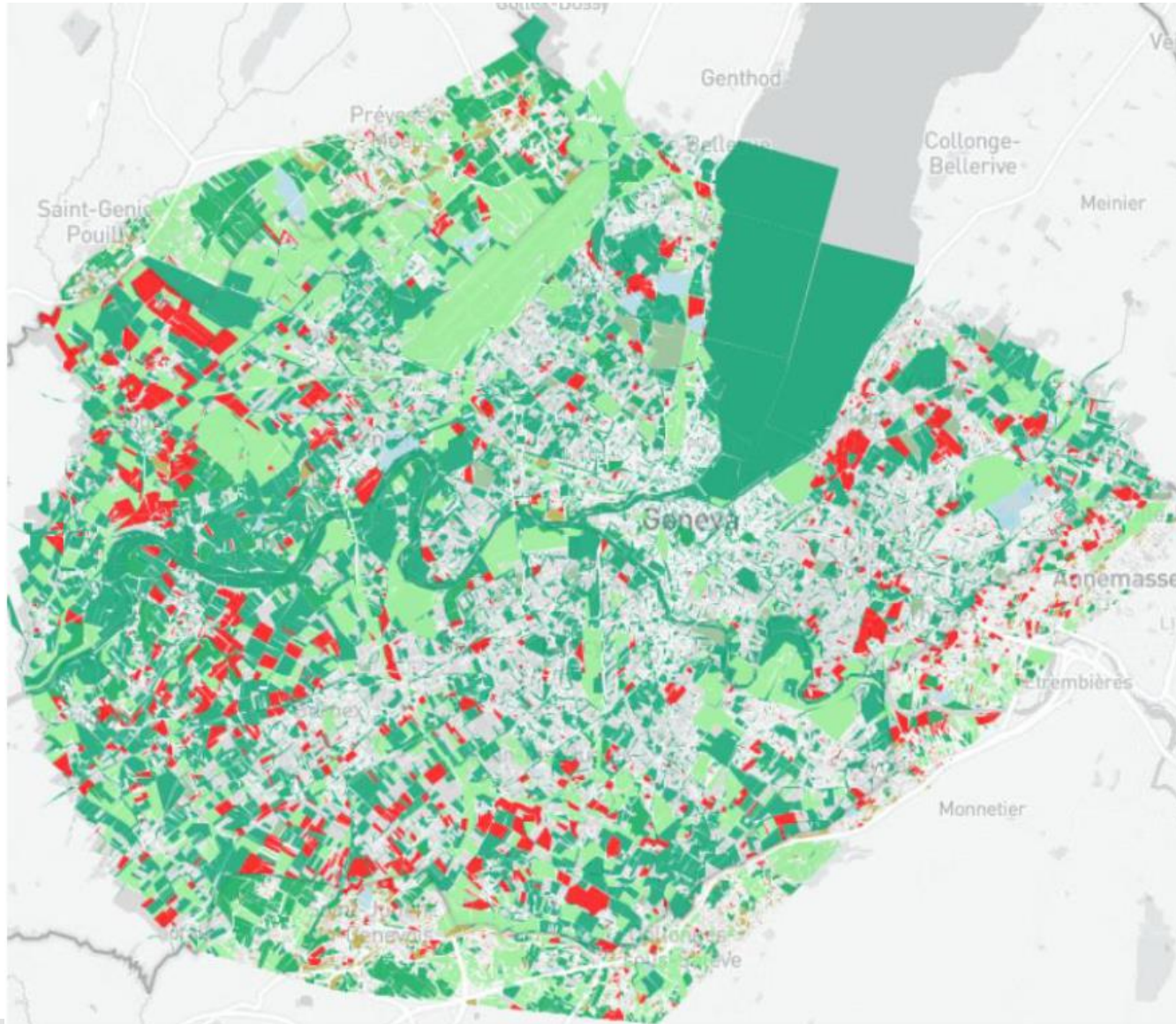
Gisco (forêts)



Vakim pak (forêts)



Permitting

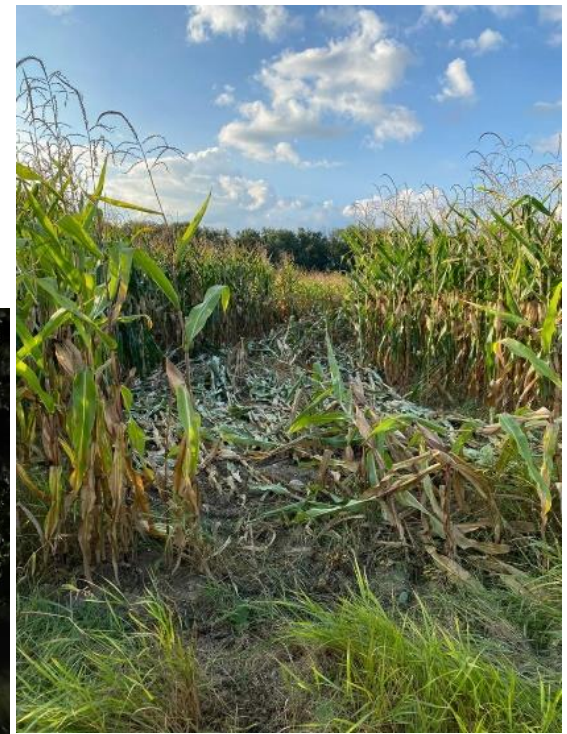


- **19'000 parcelles** concernées
 - Dont 3337 refusées (17%)
 - 10 personnes à plein temps pendant 1 an
 - Parfois uniquement géophones autorisés
 - Au total 13'700 points de tirs abandonnés (dont 3600 durant la campagne)
-
- Parcelles agricoles → coordination importante (OCAN – Agri Genève – GESDEC)
 - Période des vendanges
 - Problème des dépendances et de copropriétés
 - Intervention de l'Etat *"qui ne dit mot consent"*
 - Besoin de parkings pour les vibros inactifs la journée
 - Echanges avec les pêcheurs professionnels et la Capitainerie

Mesures sur les sols et surfaces agricoles

Important travail de permittage et de coordination avec les agriculteurs/viticulteurs:

- Avec l'appui du service de l'agriculture, du GESDEC et d'Agri-Genève
- Solutions au cas par cas avec presque tous les agriculteurs / viticulteurs
- Déplacement de bcp de points en bordure des champs
- Dédommagement pour perte de cultures simplifié et indépendant du type de culture (y.c SPB)
- Définition claire des impacts et des dédommagements après passage
- Période de vendanges – difficultés accrues mais autorisation pour géophones
- Interdiction de circuler hors des chemins avec des véhicules motorisés excepté les camions-vibreurs
- Passages dans les champs minimisés et optimisés au maximum pour impacter la surface la plus petite possible



- Peu de champs ont dû être abandonnés
- Quelques couacs de passage sur des champs non permittés en début de campagne
- Peu de dégâts aux sols
- **Météo très favorable**

Mesures en forêt

- Utilisation de sources de type "marteau" ou "chute de poids" (camions trop larges)
- Une équipe dédiée /acquisition de jour
- Besoins en élagage et débroussaillage des chemins pour le marquage topographique et déroulement des géophones

→ Résultats mitigés (puissance insuffisante)



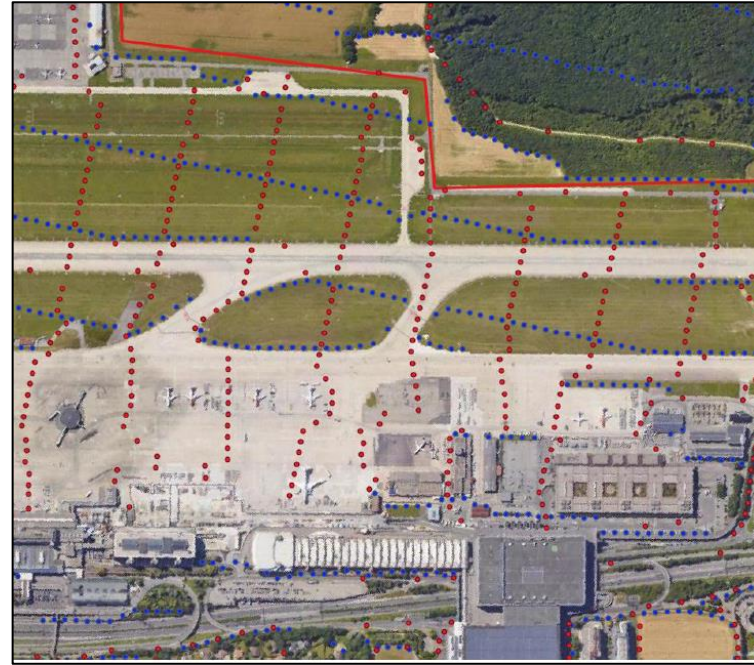
Gisco



Vakim pak

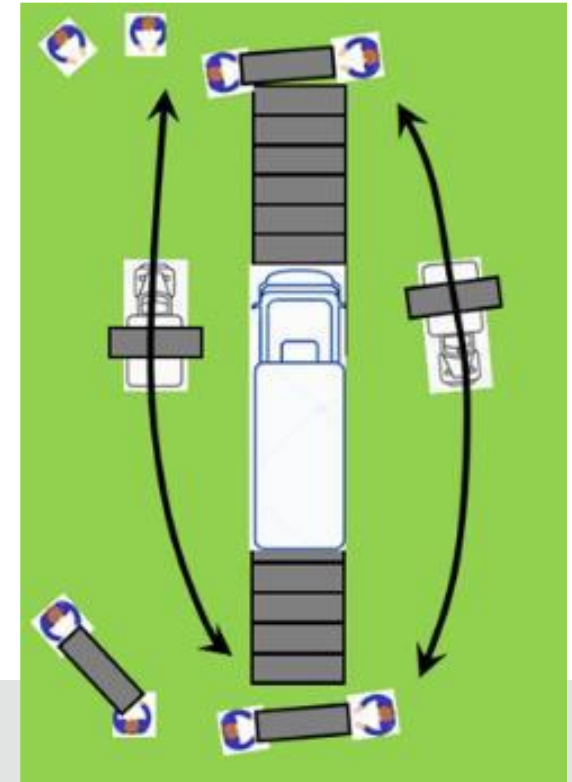
Mesures sur l'aéroport

- Procédure complexe à mettre en œuvre (document de "safety assesement" pour soumission à l'OFAC)
 - Excellent soutien du personnel de l'aéroport
 - Contraintes liées aux accès (durée, permis spéciaux), présence des oléoducs, capteurs skyguide; stationnement des avions, vols d'urgence
- Au final: acquisition de qualité et sans mauvaise surprise



Mesures sur le golf de Coligny

- Accès autorisé après de longues négociations (impact important sur les mesures)
- Conditions d'accès très contraignantes impliquant une logistique lourde (utilisation de plaques de roulement)
- Équipe de 12 personnes et 2 voiturettes



Infrastructures de génie civil et du cadastre technique du sous-sol

Entités concernées:

- OCGC
- AGCM
- OPS
- Propriétaires de conduites (SIG, VdG, Saraco, Gaznat, Aéroport)
- Communes
- CERN



Points d'attentions relevés

- Revêtements phono-absorbants
- Structures en "hérisson"
- Murs de soutènement
- Galeries et chambres techniques, parkings et autres volumes souterrains (cadastre technique du sous-sol)
- Anciennes galeries souterraines et caves (cadastre non-exhaustif)
- Gazoducs / oléoducs
- Conduites souterraines & galeries électriques fragiles (cadastre de l'état de fragilité des conduites)

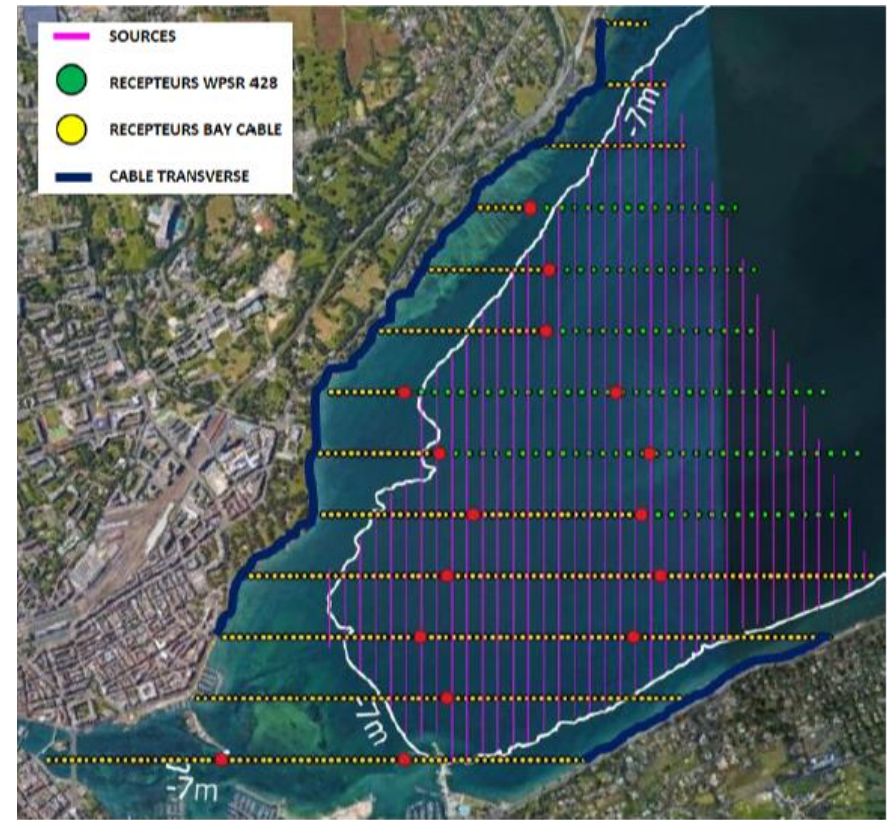
Acquisition sur le lac

Impact des mesures sur la faune lacustre

- Sujet sensible avec peu de référence lacustre (pétrolier offshore)
- Réalisation d'une 1^{ère} étude d'incidence sur la faune et flore lacustre
- Concertation étroite avec le service de la pêche, les commissions (pêche, CIPEL) et les pêcheurs professionnels
- Mesures limitées à une bathymétrie > 7m
- Etude de suivi des poissons avant, pendant et après la campagne par un institut français spécialisé (INRAE de Thonon). Indicateurs de stress, déplacements et ADN dans l'eau.

Besoins en coordination et logistique

- Accès au lac (avec l'appui de la capitainerie)
- Coordination avec les pêcheurs professionnels et autres utilisateurs (CGN, Mouettes, ski nautique, triathlon)
- Maintien d'un périmètre de sécurité de 150m autour du bateau "source" (avec l'appui de la brigade du lac)



Acquisition lacustre

support



Câblière



Ponton airguns (4)



Procédure de contrôle des vibrations

- ❓ Cette norme (VSS 40 312) décrit les valeurs limites des ébranlements et vibrations provoquées par :
 - Les coups de mines.
 - Les machines et engins de chantier.
 - La circulation routière et ferroviaire.
- ❓ Les camions vibrateurs sont assimilables à des machines et engins de chantier. Le respect des valeurs maximales de vitesse particulière permet de prévenir les dégâts aux infrastructures.
- ❓ Les valeurs limites de vitesses particulières applicables aux infrastructures sont définies en fonction des :
 - Classes de sensibilité des infrastructures ;
 - Nombre de sollicitations.
 - Domaine de fréquences de vibrations (Hz).
- ❓ **Une fois l'instrument installé devant le bâtiment, et au fur et à mesure du rapprochement de la source de vibrations, l'opérateur effectue la mesure et s'assure du respect des seuils de sollicitation définis. Il informe ou stoppe l'opérateur du camion en cas de rapprochement ou dépassement du seuil**

Sensibilité	Bâtiment	Génie civil	Valeur indicative [mm/s]
1		- Pont en béton armé ou acier - Ouvrage en béton armé ou maçonnerie - Galerie, tunnel en terrain compact - Conduite à ciel ouvert	18
2	- Bâtiment en béton armé - Construction métallique - Pylône	- Tunnel en terrain meuble - Garage souterrain - Conduite de gaz et d'eau, câble enterré	12
3	- Habitation en maçonnerie de béton ou brique - Ecole, hôpital, église	- Captage de source - Réservoir - Conduite en fonte ductile - Câble sensible	6
4	Monument historique et protégé	Ancienne conduite en fonte grise	3

hotline de renseignement

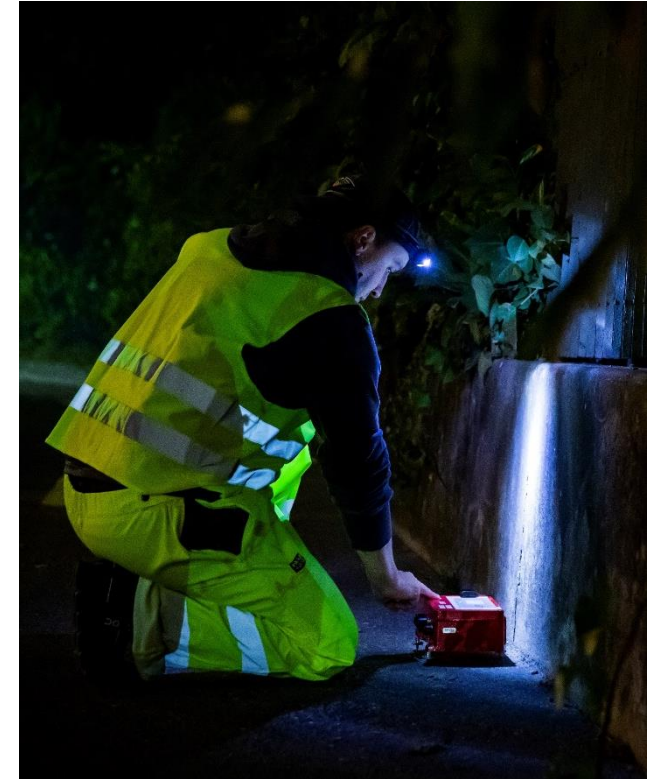
- ❓ **Cabanon à Unimail**
- ❓ **Hotline active**
- ❓ **Réclamation car mauvaise information sur les dates de passage, pas reçu le courrier d'annonce, vibrations plus fortes que ce que dit le flyer, passage sur la propriété alors que la personne avait signifié un refus ou n'avait pas été informée. Ou questions sur les forages, la sismicité, sur la provenance des travailleurs...car plaques françaises...**
- ❓ **100 appels pour des questions, 60 plaintes pour dérangements ou dégâts constatés**

Dégâts occasionnés

50 plaintes recensées, traitées rapidement et objectivées par un expert indépendant.

Basé sur une norme SIA de construction

- 2 clairement liées à la campagne (rupture d'une canalisation; poinçonnement de la chaussée)
→ erreur du mandataire
- $\frac{1}{4}$ avec lien de causalité éventuel malgré le respect des normes et conditions (en général aggravation de dommages préexistants)
→ dédommagements pour un montant total de 15'000 CHF
- $\frac{3}{4}$ sans aucun lien avec la campagne
→ refus d'entrer en matière
→ 1 plainte collective en cours de traitement



38'000 points vibrés et mesurés

Dégâts subis

- Vandalisme sur les géophones actifs (vols, déplacements, destruction)
 - Intensifié en direction du centre-ville
 - Violence verbale, parfois physique et tir de bouteille sur le personnel
-
- Engagements de personnel supplémentaire ("line spotters", équipes de sécurité) pour veiller sur le spread et le réparer chaque nuit
 - Implication des médias et réseaux sociaux pour expliquer et rendre attentif
 - Plus de 1000 géophones manquants ou retrouvés détruits à la fin de la campagne et on en retrouve encore!



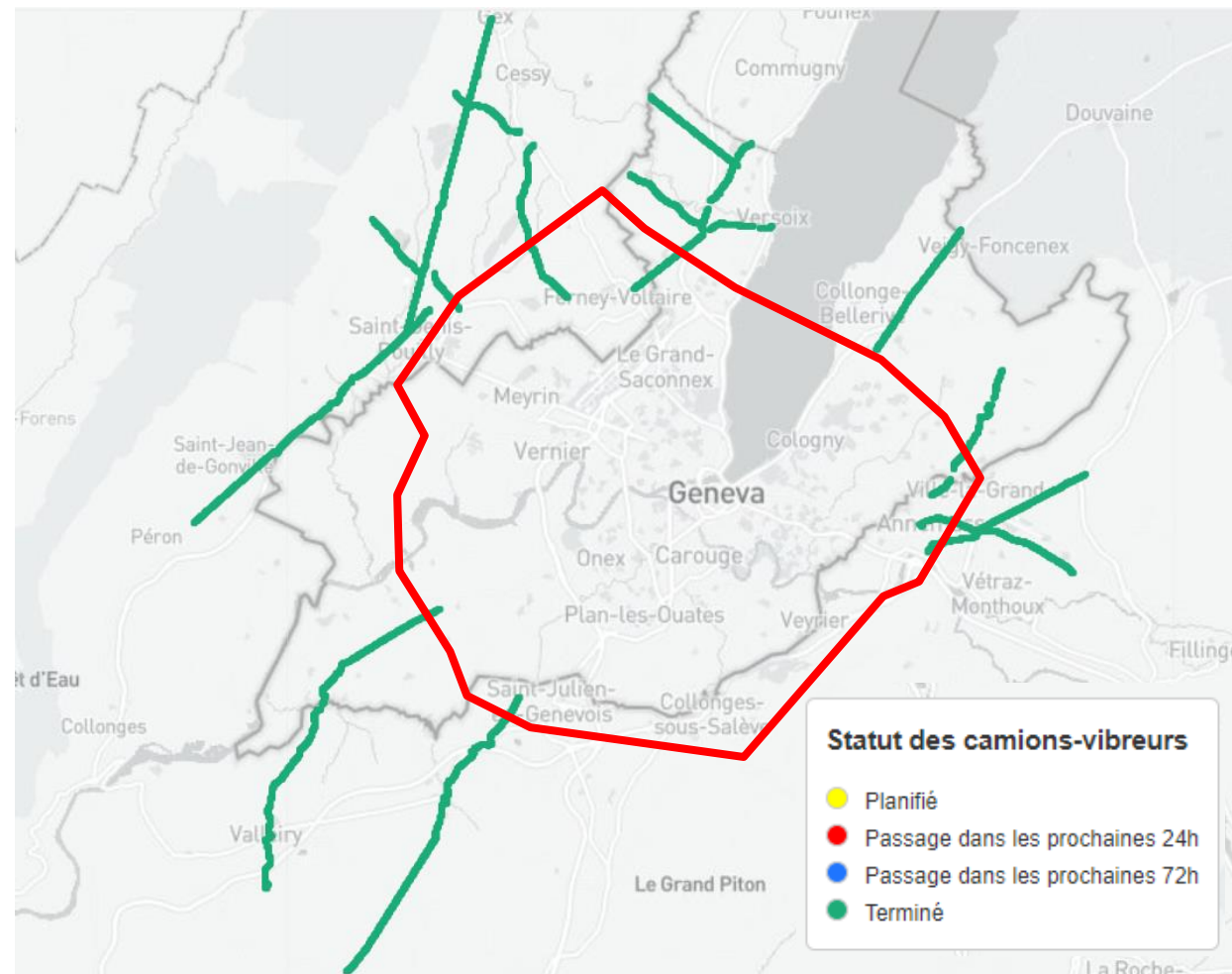
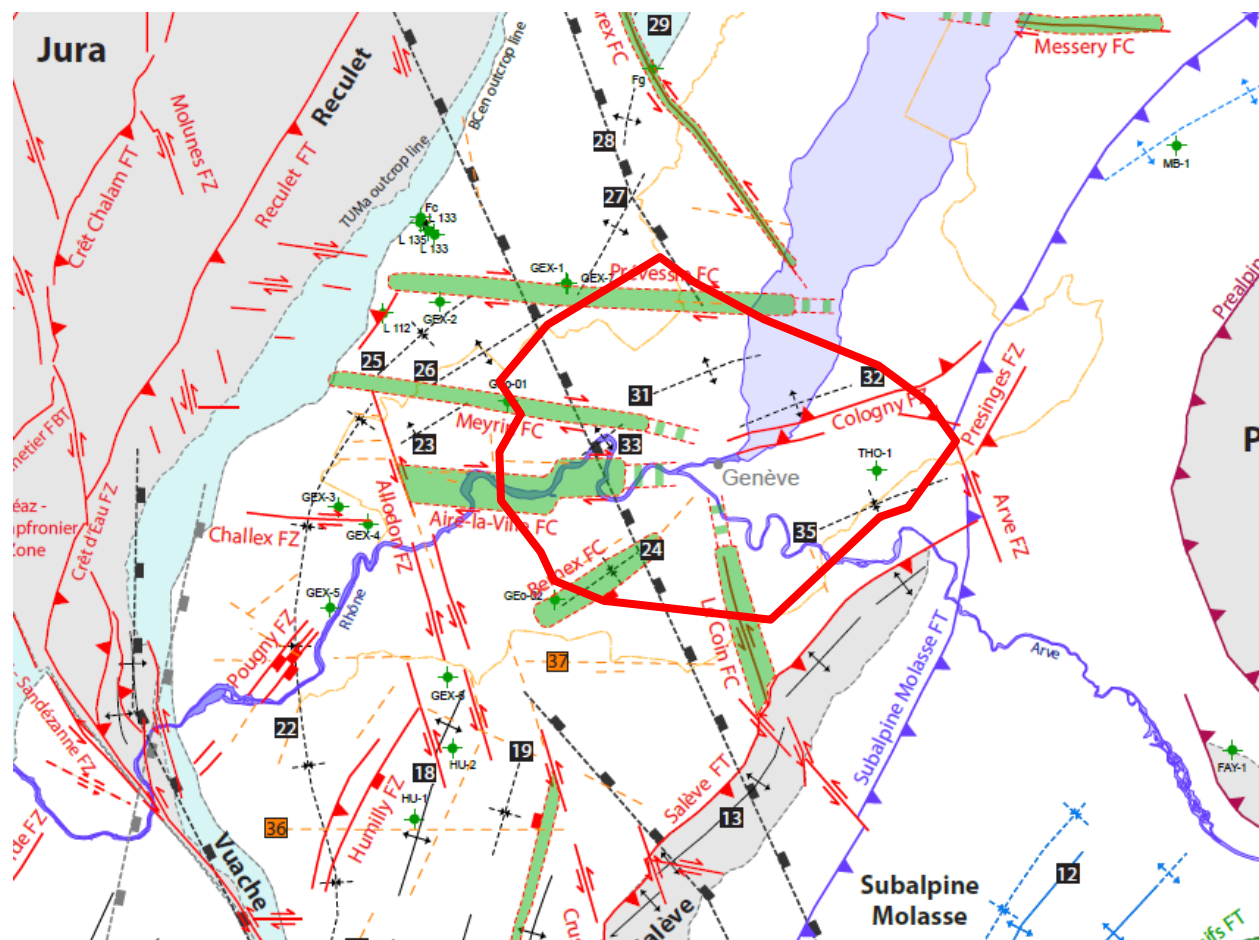


...Mais également support et encouragements



Campagnes de prospection géothermique 2D supplémentaire en 2023

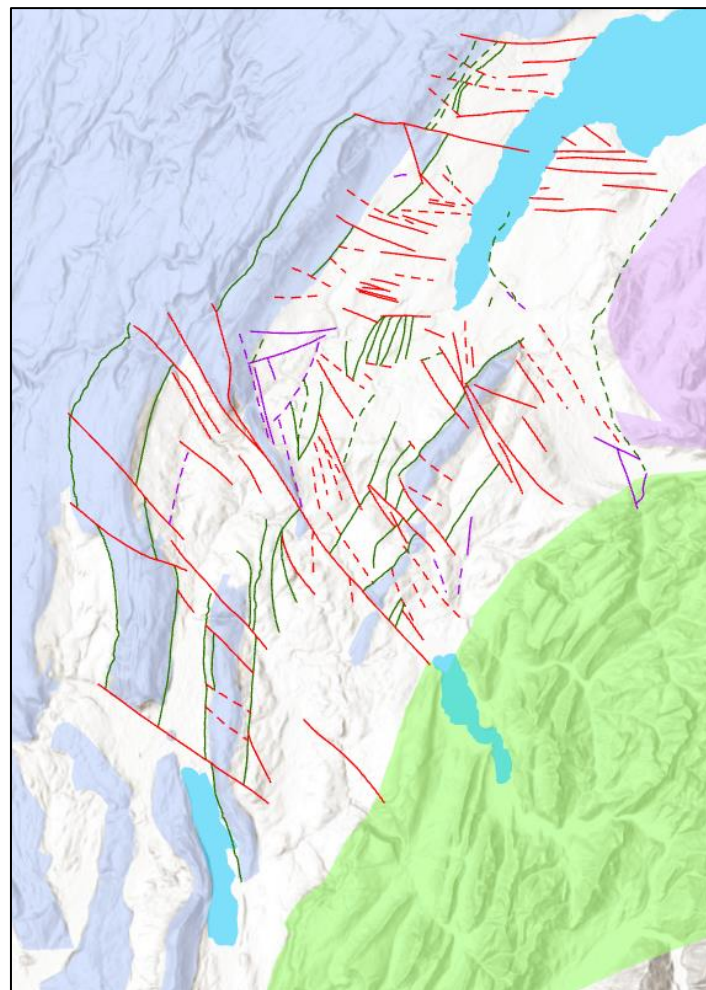
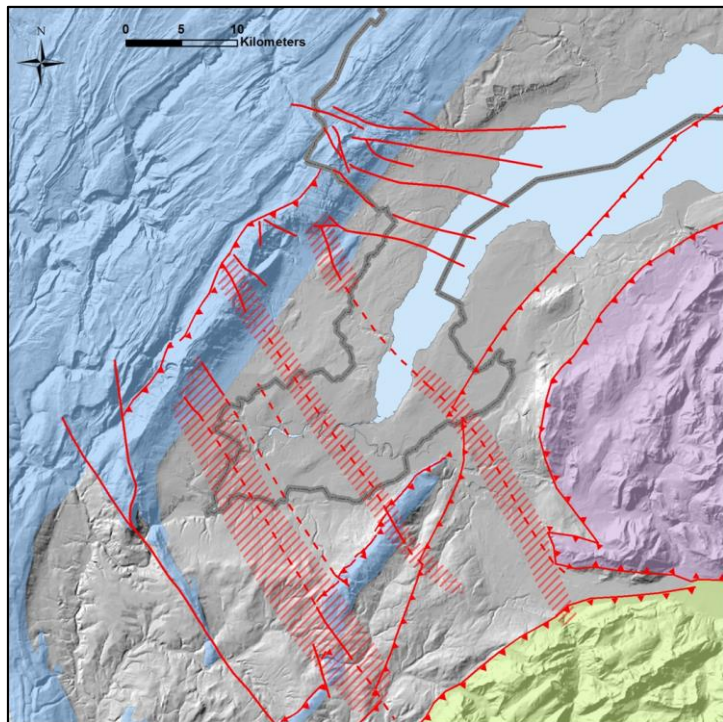
Pour compléter les trous de la raquette côté Genève et compléter les connaissances côté transfrontalier



Premiers résultats

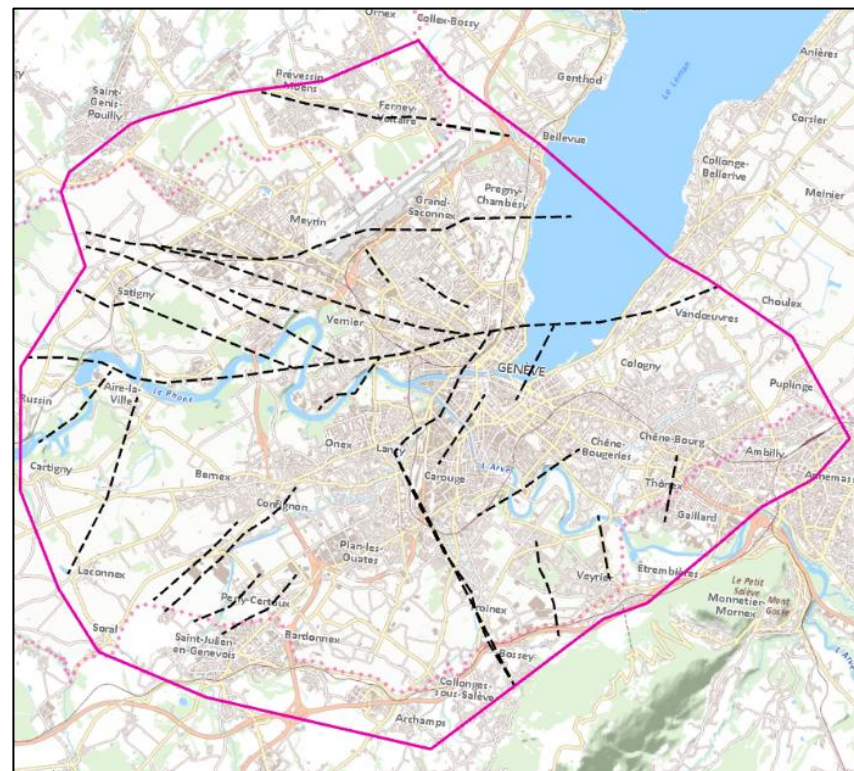
? Confirmation du schéma structural esquissé depuis 2020

< 2016



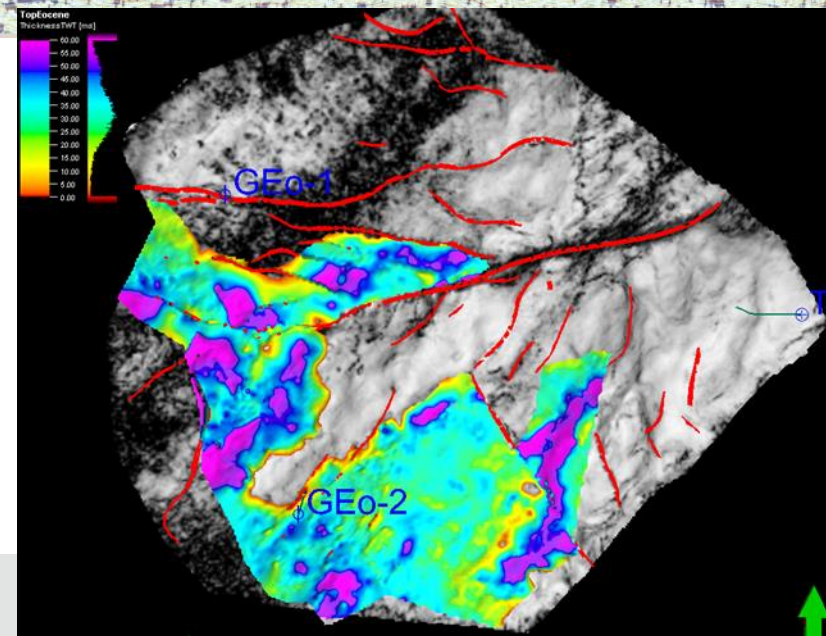
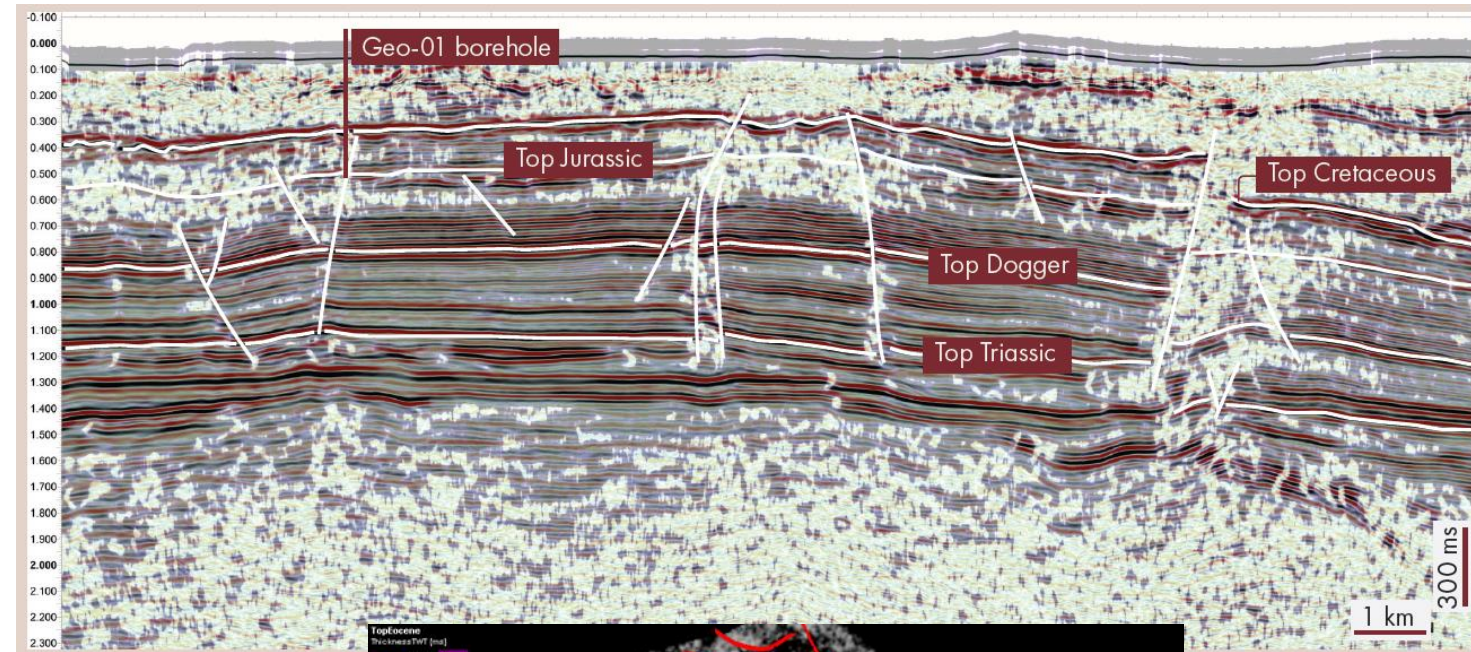
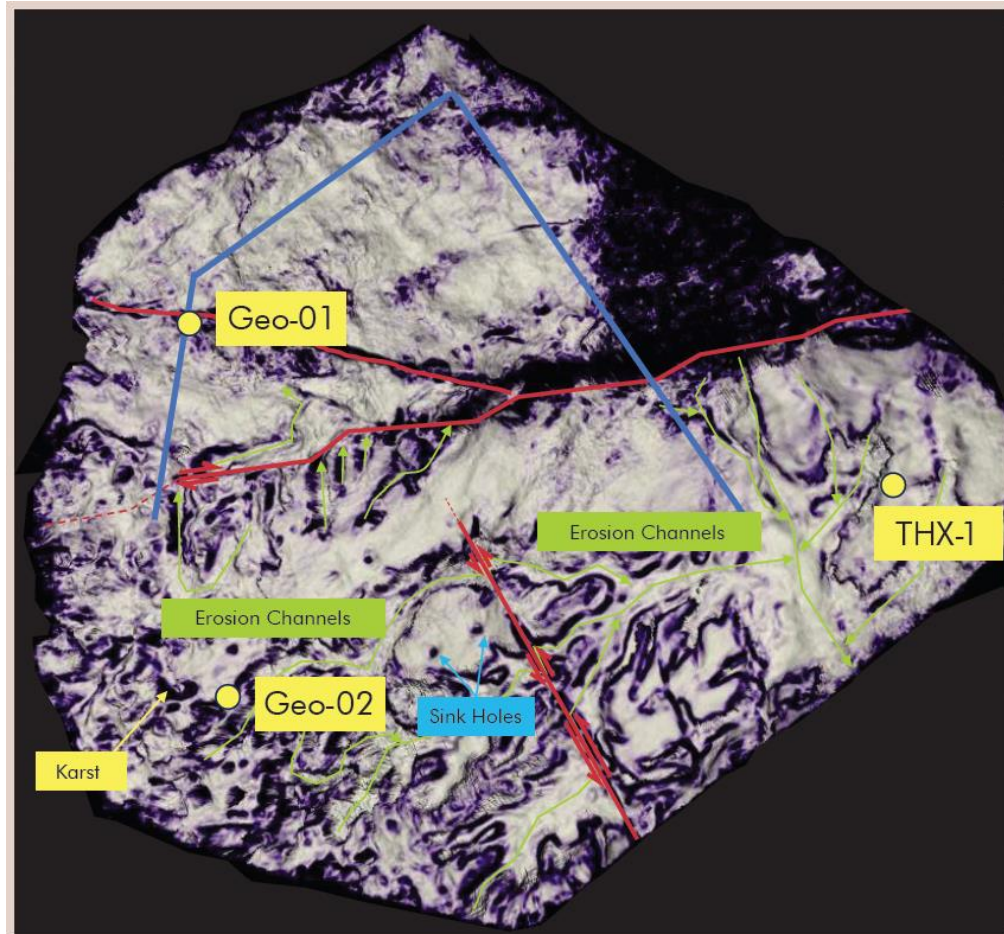
2020

2022

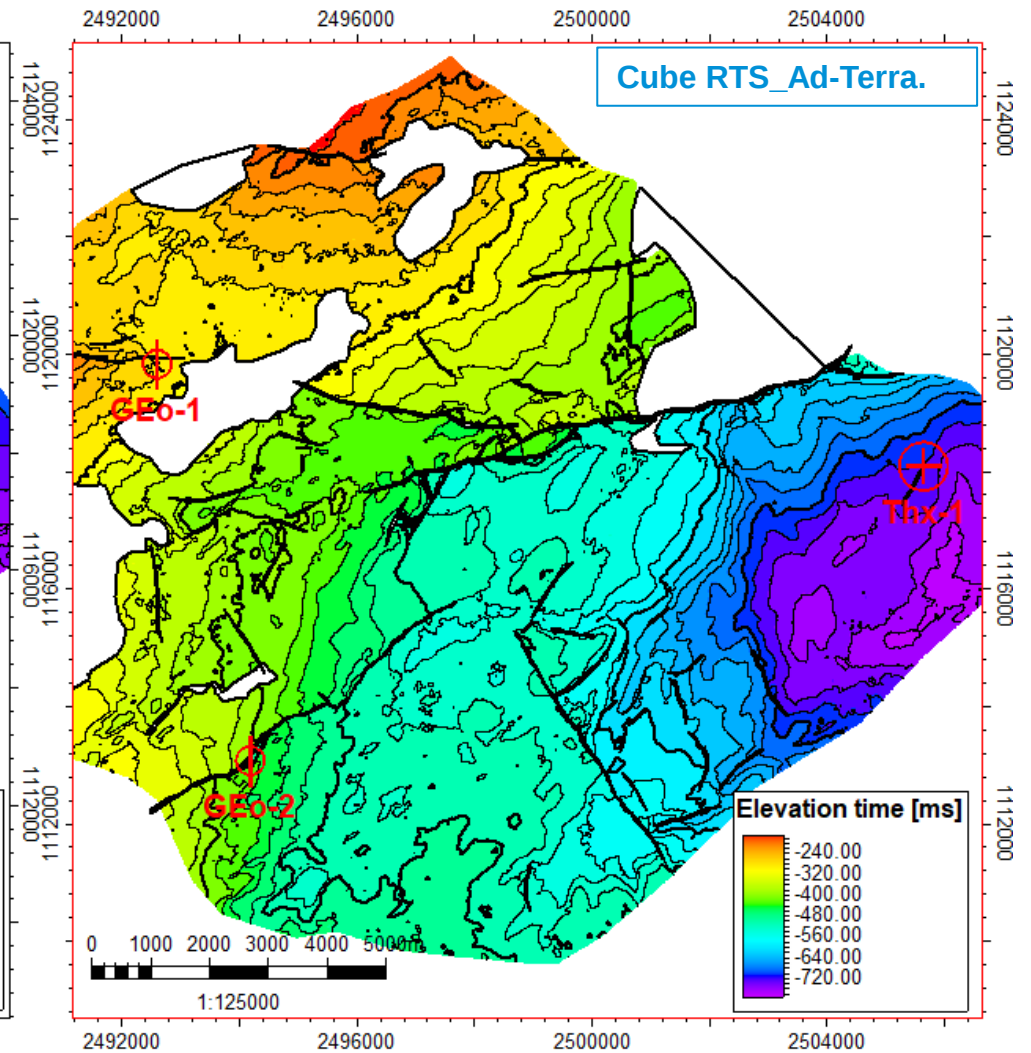
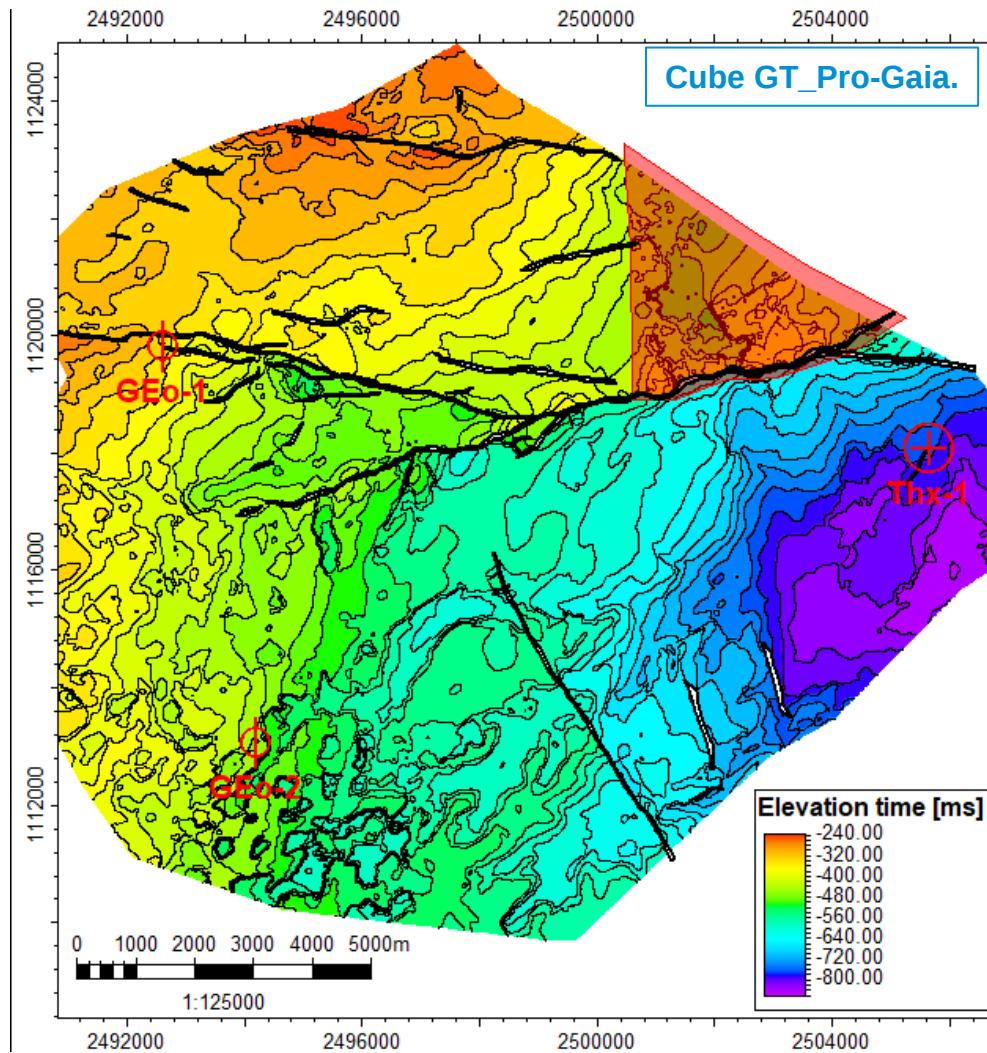


De nouvelles perspectives offertes

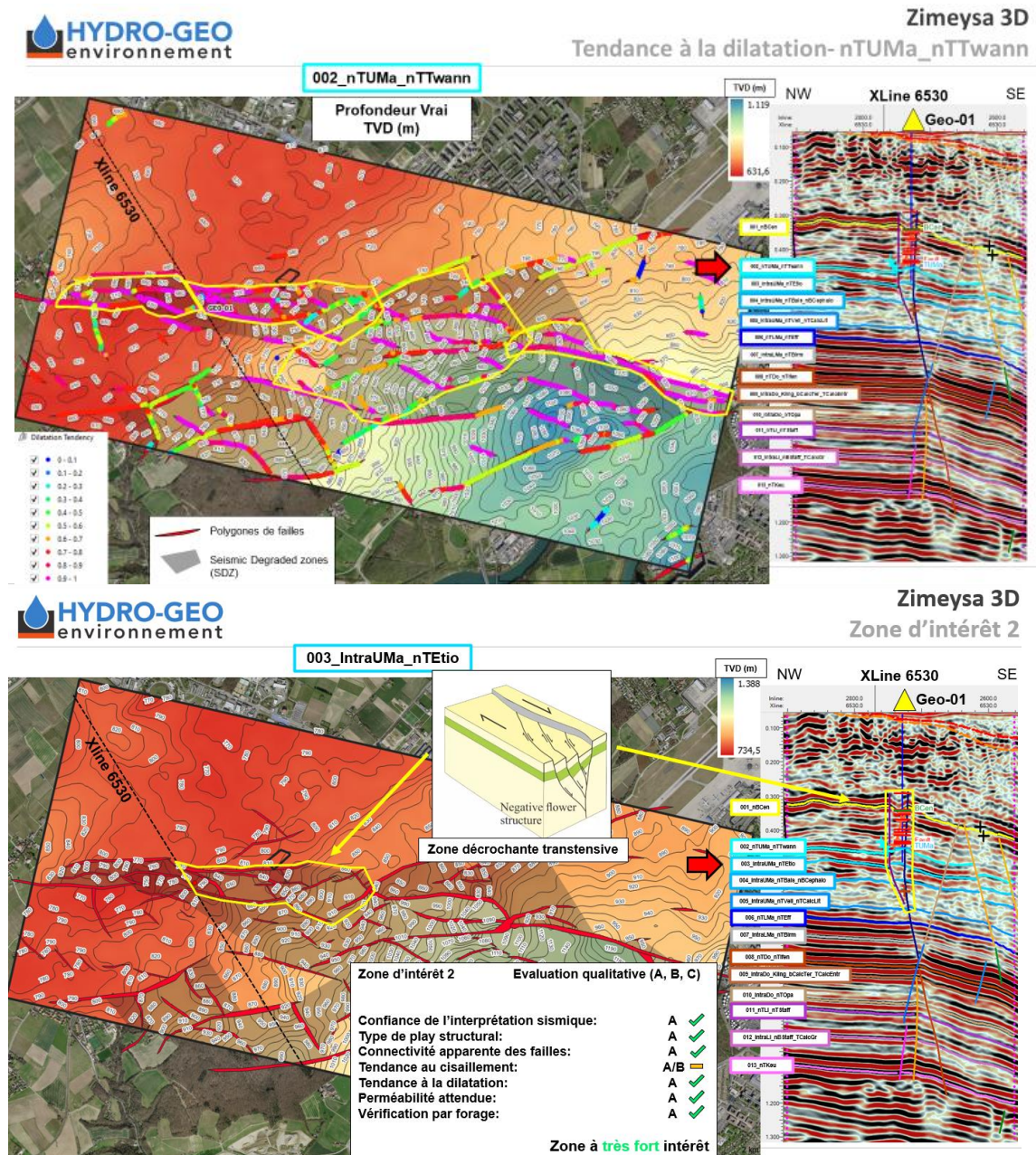
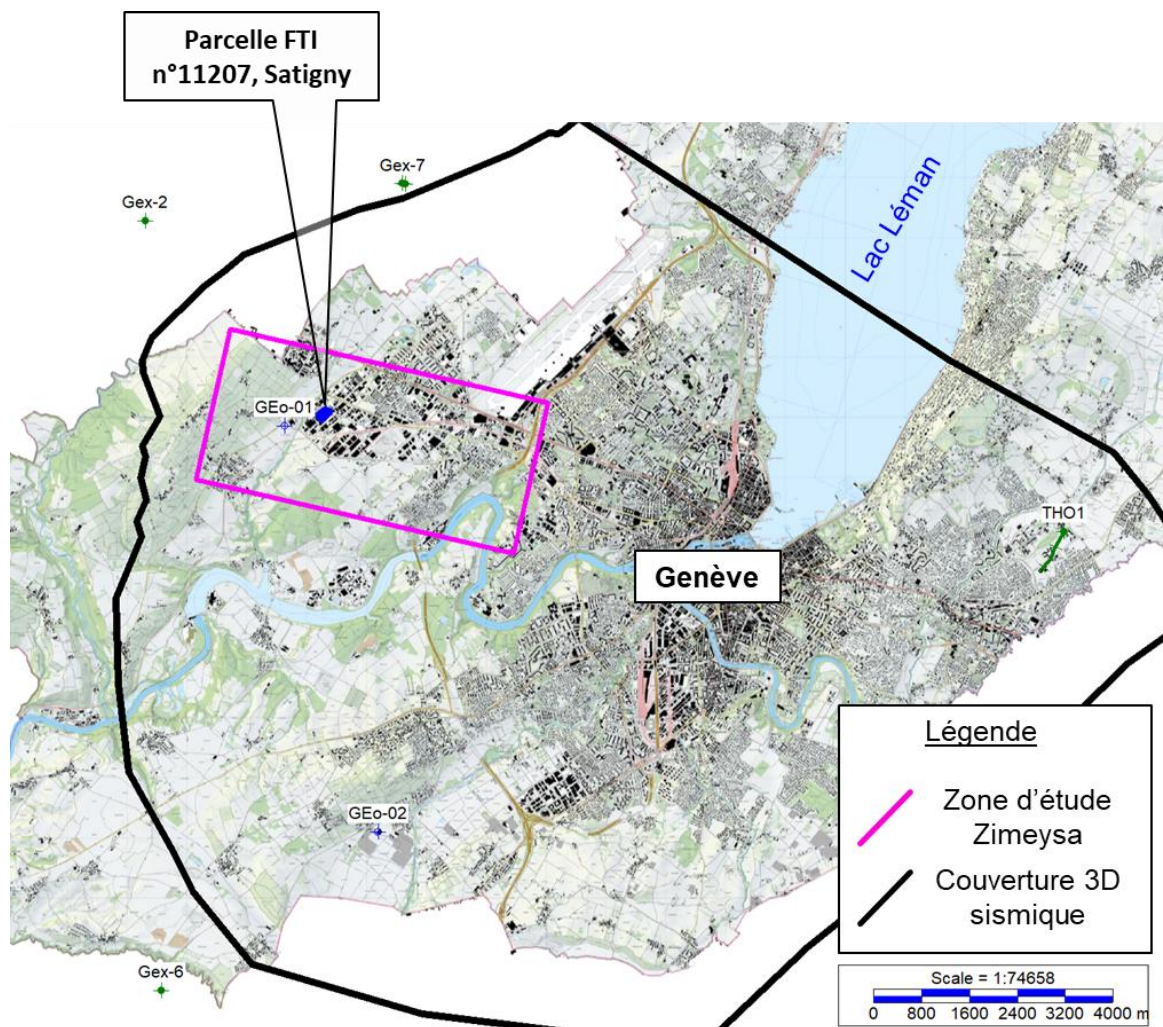
Coupes verticales et horizontales



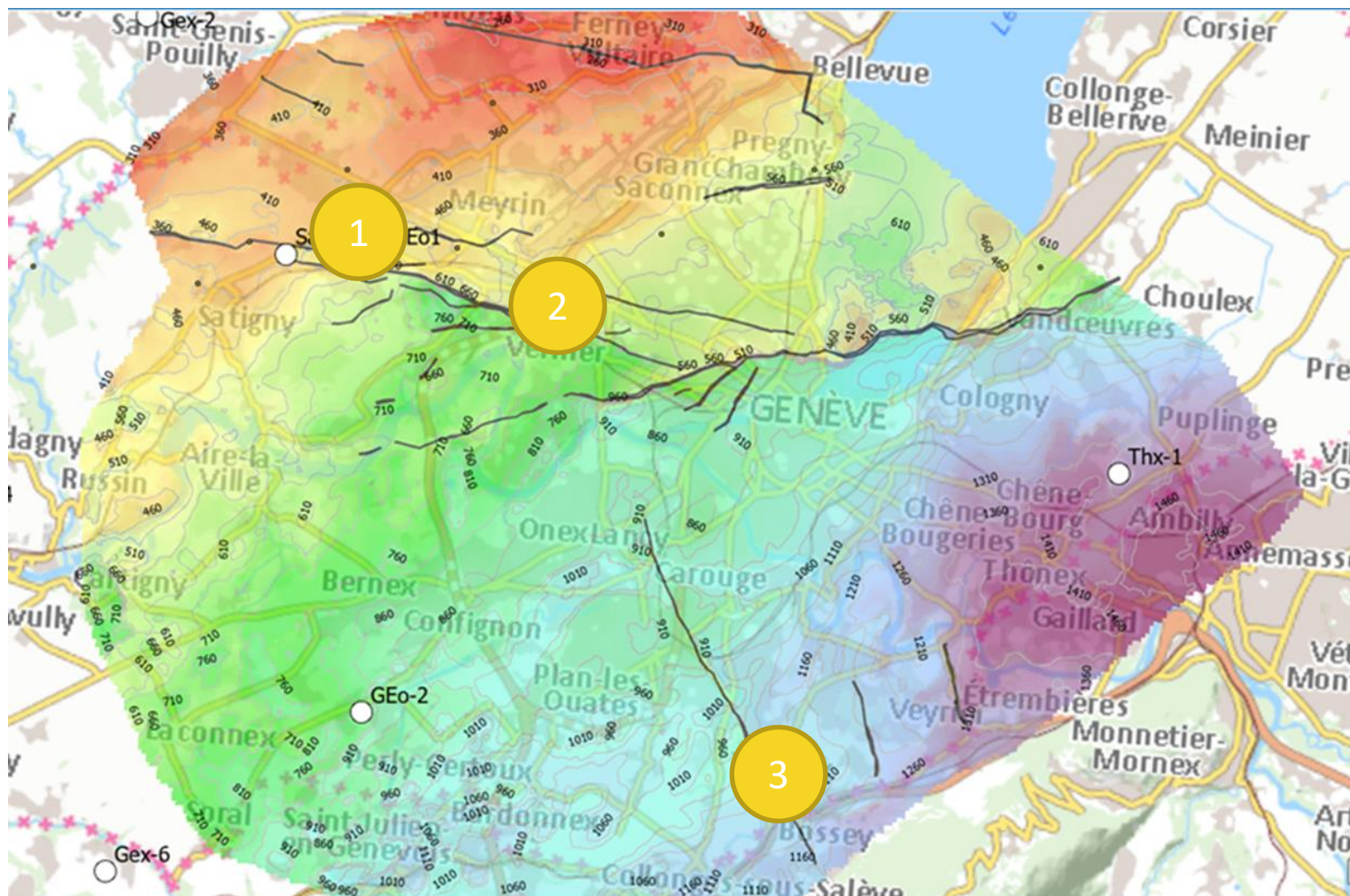
Différents points de vue selon les interprétations



Données d'interprétation détaillée



Probabilité de succès des projets et stratégie d'intervention



POS
élevée

1

Satigny 2
1'400 m de profondeur
Mise en valeur

2

GEO-03
2'200 m de profondeur
Explo + mise en valeur

3

GEO-04
1'200-2'000 m
de profondeur
Explo

POS
incertaine

Retours sur les opérations de forages



GEO-01 2017



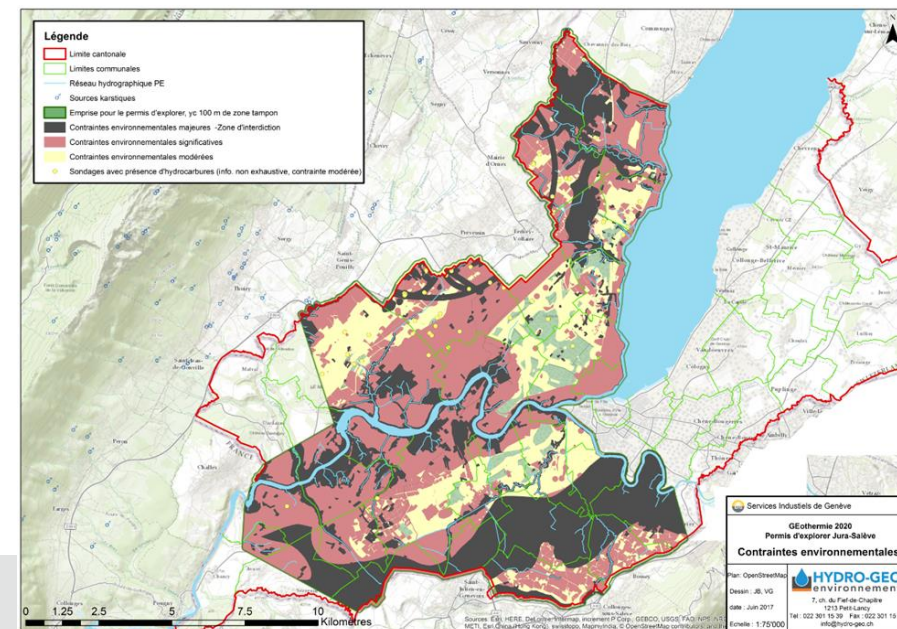
GEO-02 2020

Comment passer de l'intention de forer à la concrétisation de l'opération ?

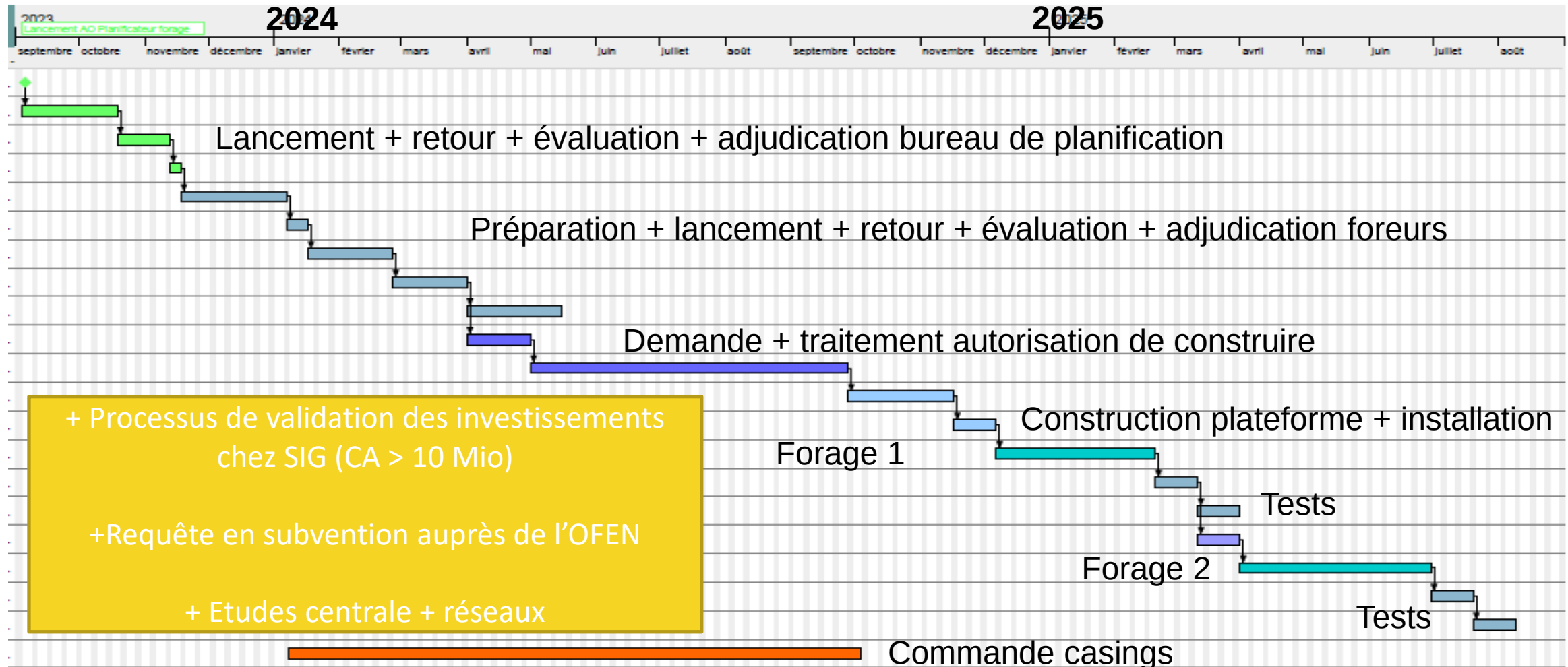
- ❓ Trouver une parcelle dans un périmètre proche de la cible identifiée
- Suffisamment grande: entre 4000 et 8000 m² selon les opérateurs
- Libre suffisamment longtemps: environ une année. Mais entre la prise de contact avec le propriétaire et le temps du début des opérations, il peut se passer deux à quatre ans!
- Proche des accès routiers, des réseaux d'eau usée et d'électricité et sans surprise cachée comme la découverte de sol pollué à assainir

Lancer les études

- Obtenir le permis d'exploration (justification géologique, analyse de risque géologique et sismique, description technique)
- Obtenir les autorisations de construire (étude d'impact, étude géotechnique pour la construction de la plateforme, plans détaillés de gestion des eaux, gestion des déchets, etc.)
- Mais avant de pouvoir lancer des études, il faut des informations préalables sur la disponibilité des machines sur le marché international...lancer des pré-consultations
- La complication majeure: Lancer des AO sur le marché international car nous sommes soumis aux procédures des marchés publics et que les montants sont élevés...
- ❓ Obtenir les crédits pour passer les commandes...



Calendrier Satigny 2



Le retour d'expérience des forages précédents

-  Les données sismiques 2D doivent être utilisées avec précaution, il peut y avoir des «artefacts» induisant des mauvaises interprétations de fractures
- D'où la nécessité d'avoir les données en 3D.

-  Fractures n'est pas synonyme de présence d'eau en suffisance.
- D'où l'intérêt de comprendre les circulations d'eau profondes dans les réseaux karstifiés également.
- Nécessité de comprendre la géologie élargie côté Jura et Salève

-  Les forages type pétrolier à la boue comme Vinzel, Montagny ou AGGEP ne peuvent livrer tous leurs secrets et leurs réservoirs ont été pollués par la boue...
- Intérêt de continuer à développer des forages à l'eau dans les zones réservoirs comme à Géo-01 et Géo-02 malgré la réticence des spécialistes foreurs et des compagnies à nous accompagner

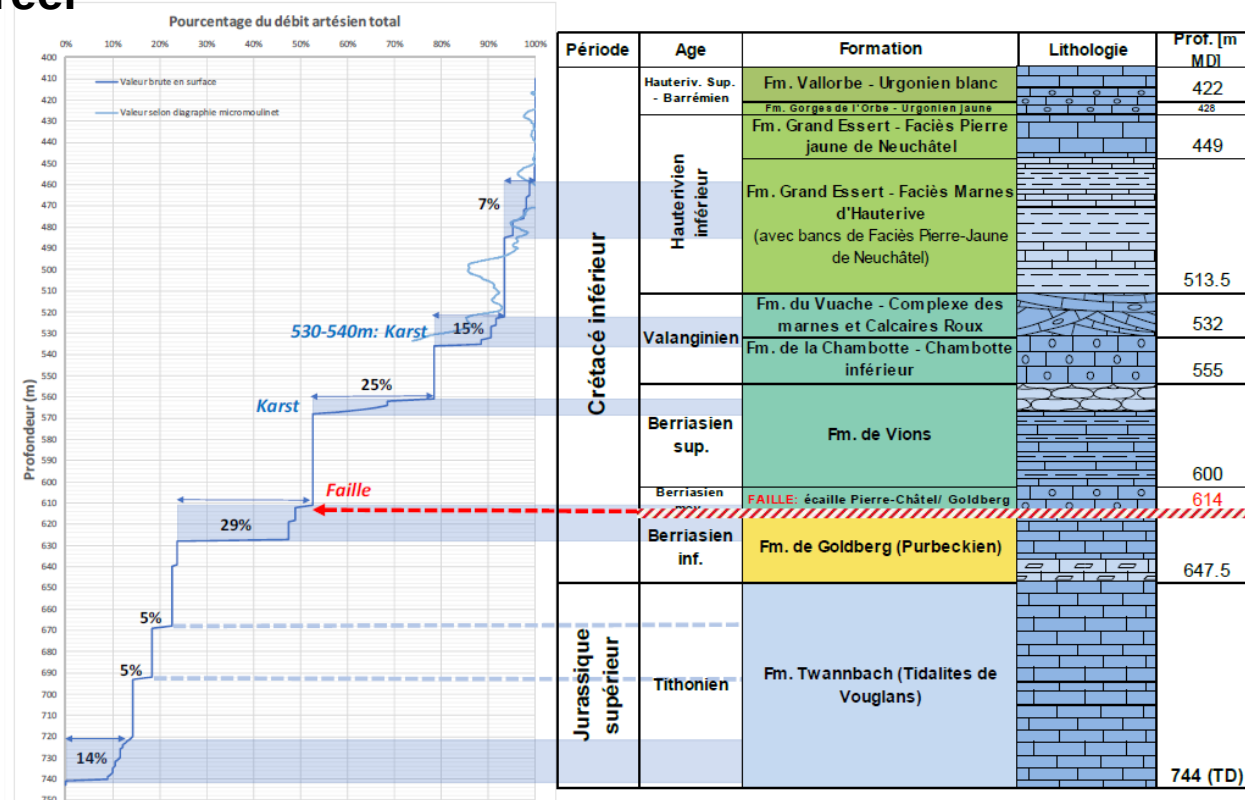
Résultats de Géo-01

Intérêt de forer à l'eau:

- visibilité dans le puits
- eau non polluée qui peut être évacuée sur le réseau d'eau usée
- Sensibilité des mesures en surface en temps réel

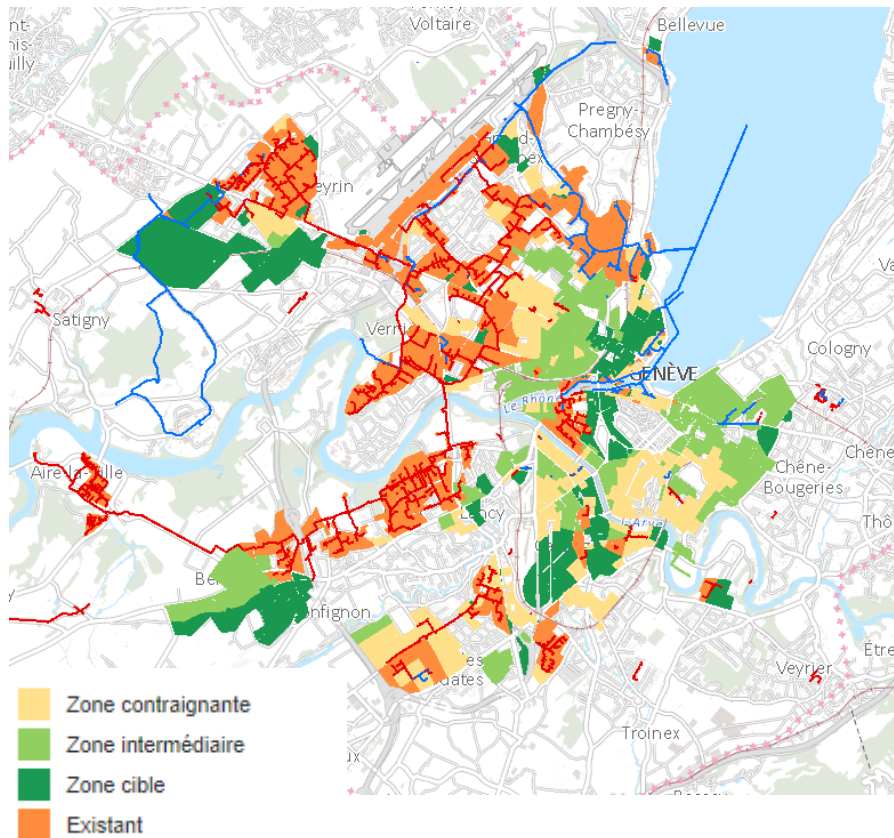


Blocs et conduits karstiques, obstruction à 540 m (sans baisse de débit)



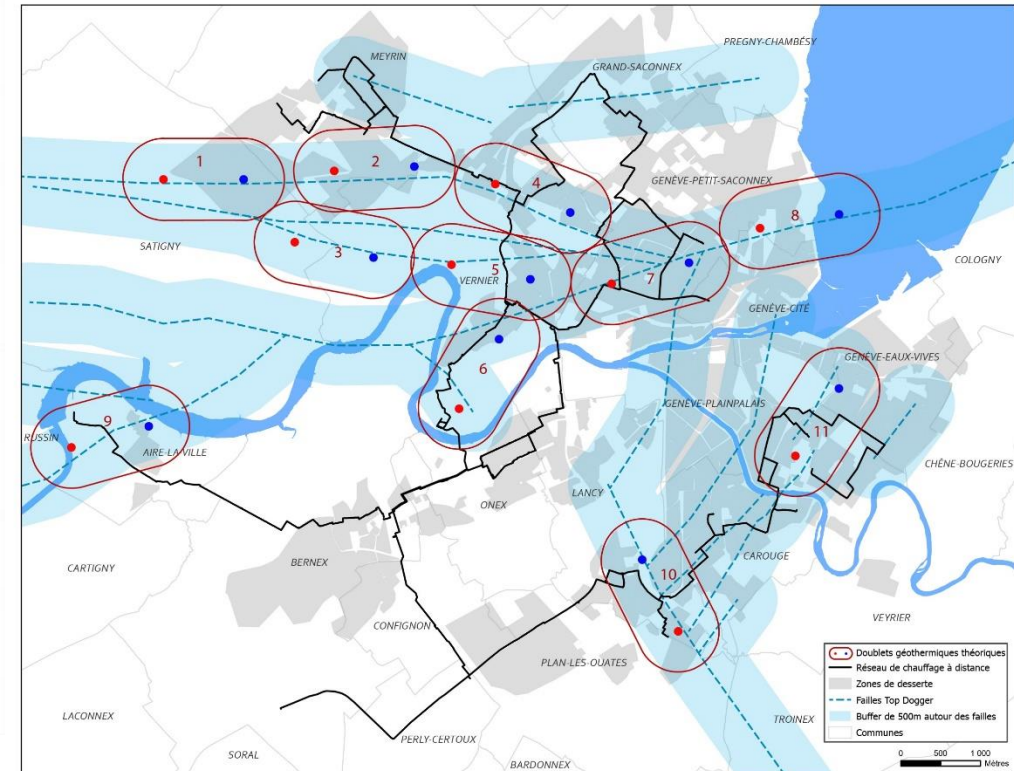
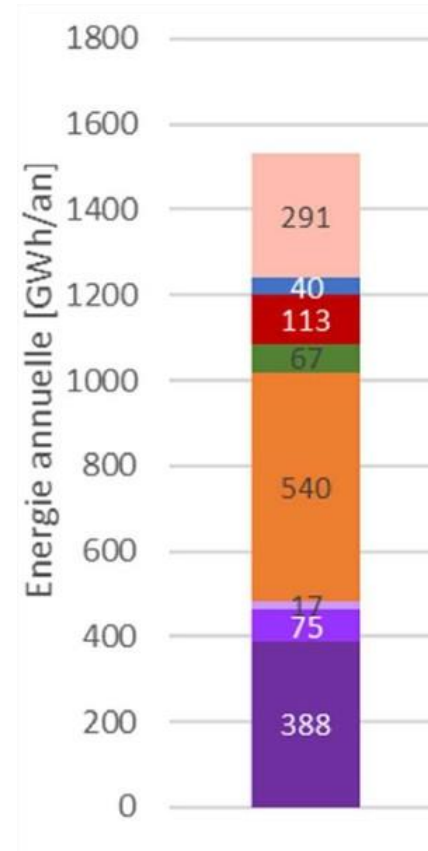
Intégration des données pour choisir des cibles de forages

Zone d'influence des réseaux thermiques structurants



Ne pas être trop éloignés des besoins

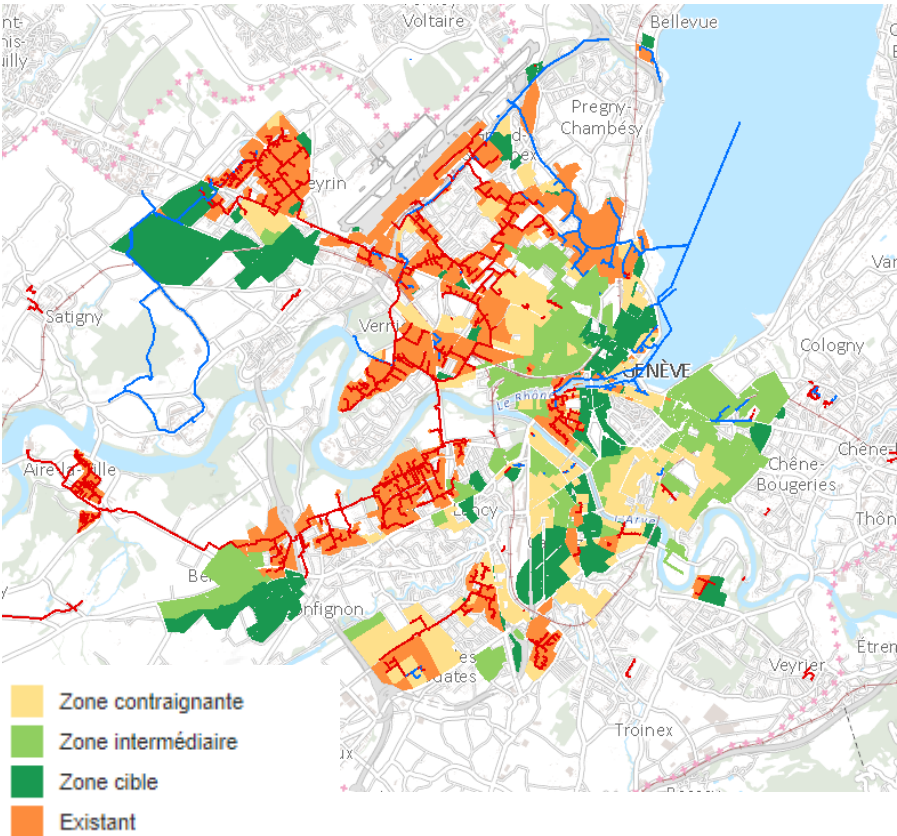
D'ici 2050, on estime à plus de 500 GWh/an la quantité d'énergie géothermique qui sera injectée dans les RTS.





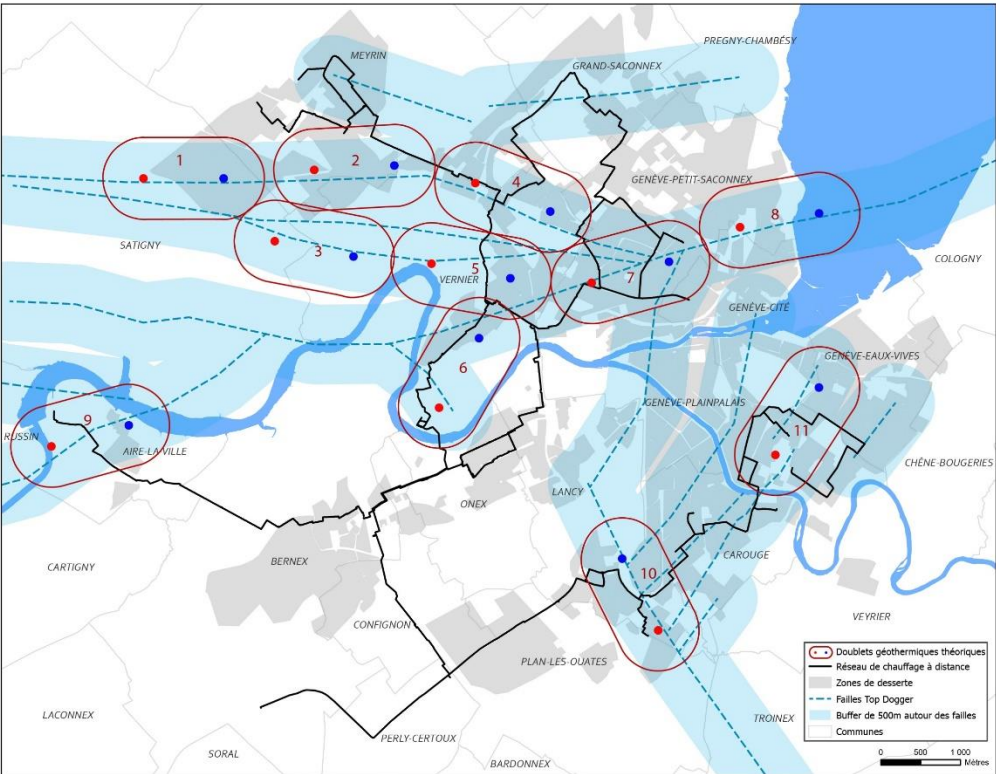
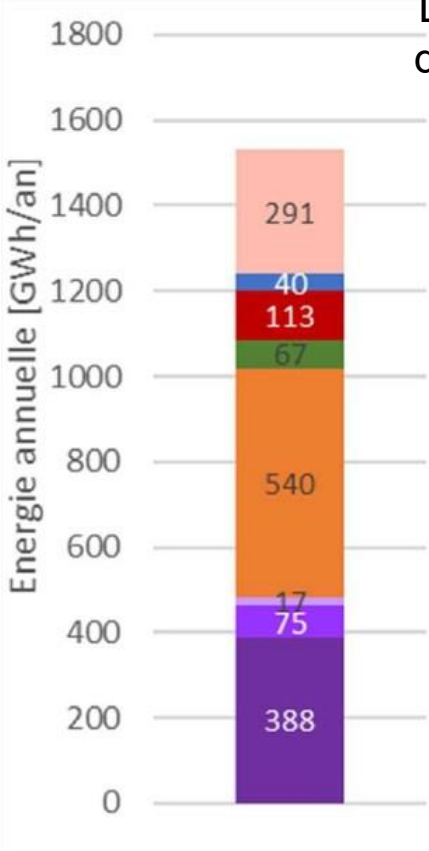
Intégration des données pour choisir des cibles de forages

Zone d'influence des réseaux thermiques structurants

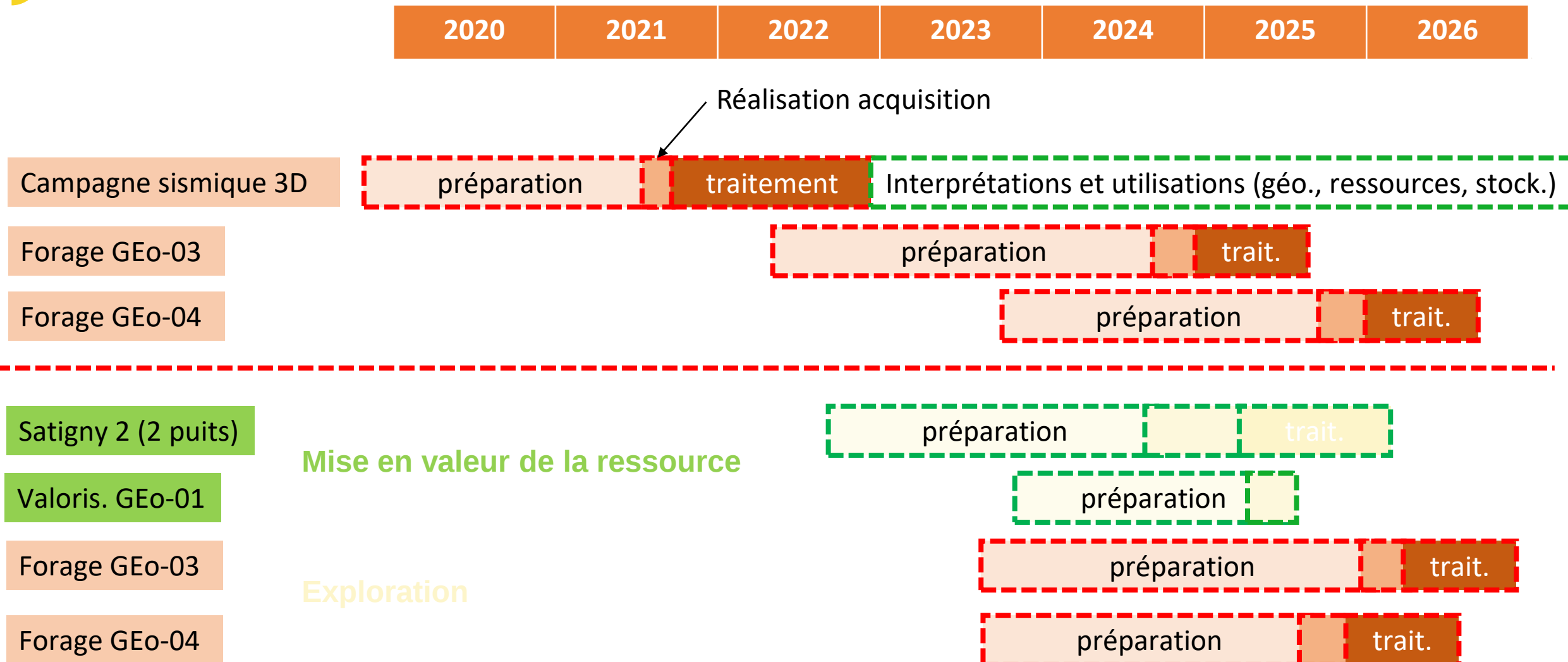


Ne pas être trop éloignés des besoins

D'ici 2050, on estime à plus de 500 GWh/an la quantité d'énergie géothermique qui sera injectée dans les RTS.



Evolution du planning pour la suite des opérations





Merci pour votre attention!!

