

La géotechnique

La géologie appliquée à la construction

TP AVG Mars 2025

Présenté par Quentin GAUTHIER & Bastien CASSERON

Sommaire

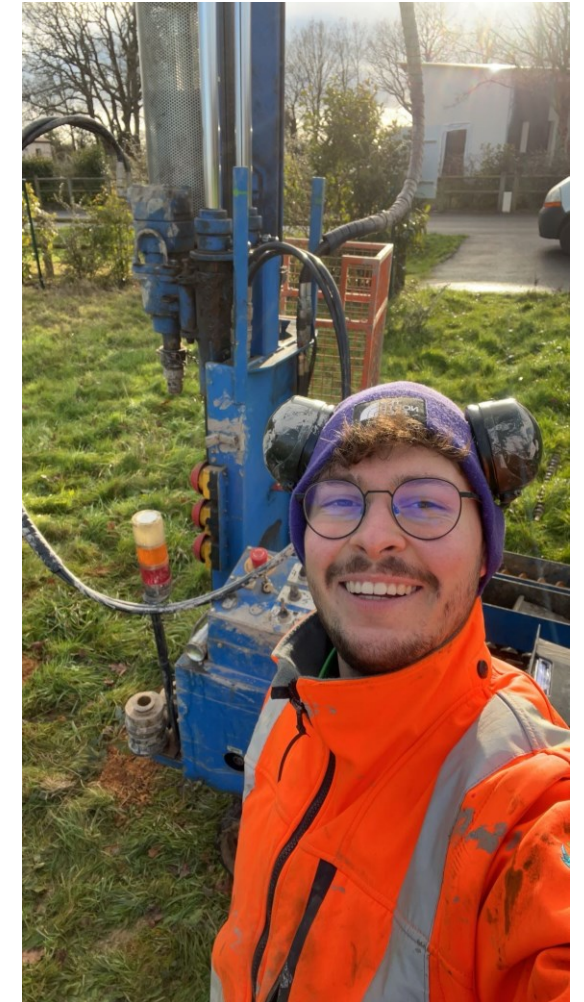
- Présentation de nos parcours
- Introduction à la géotechnique
- Réaliser une étude géotechnique
 - Un devis pour un projet
 - Préparation de la campagne de sondages
 - Réalisation des investigations in-situ
 - Essais et analyses en laboratoire
 - Ingénierie géotechnique
- Conclusion et perspectives

Et quelques ateliers pratiques !



Nos parcours de géotechniciens

- Parcours scolaires
- Stages
- Postes





Introduction à la géotechnique

Qu'est ce que la géotechnique ?

Définition

L'étude du **comportement des sols et des roches** pour concevoir des ouvrages en interaction avec le sol (bâtiments, routes, barrages, tunnels).

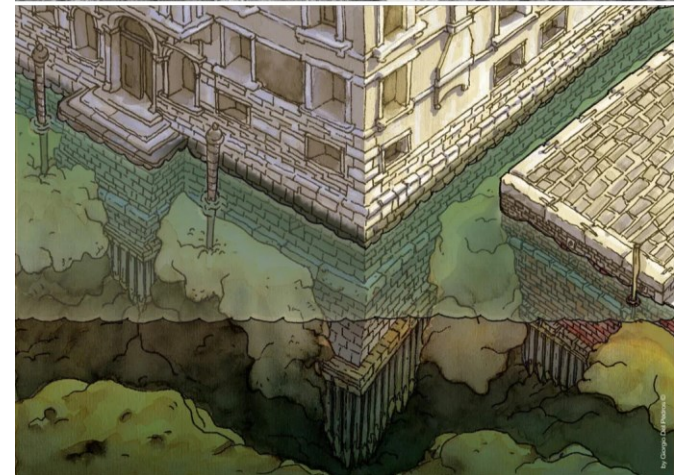
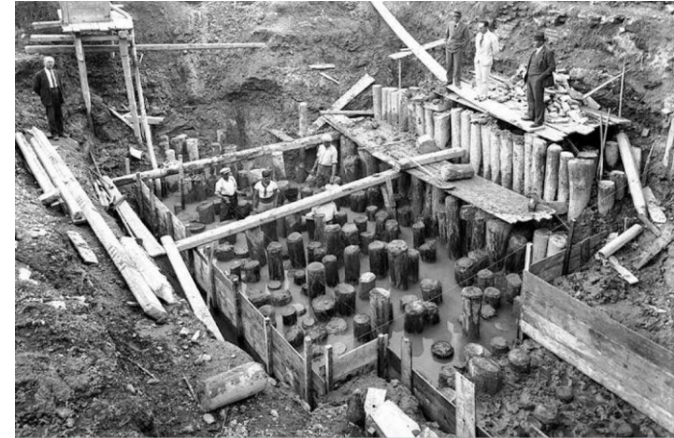


Construction du viaduc de Millau

Historique

Depuis quand fait-on de la géotechnique ?

- **Antiquité** : Les Égyptiens et les Romains utilisaient des techniques empiriques pour construire des pyramides, routes et aqueducs, posant les bases de la mécanique des sols.
- **XVIII^e siècle** : Introduction des premières études scientifiques sur la stabilité des sols avec les travaux de Coulomb (1773) sur la résistance des matériaux et des talus.
- **XIX^e siècle** : Darcy (1856) développe la loi de perméabilité, fondamentale pour comprendre le comportement des sols saturés.
- **XX^e siècle** : Karl Terzaghi (1925), "père de la mécanique des sols", formalise les principes de la pression interstitielle et de la consolidation.
- **Aujourd'hui** : Des outils modernes (modélisations numériques, essais in situ avancés) permettent d'optimiser la construction et la gestion des risques géotechniques.

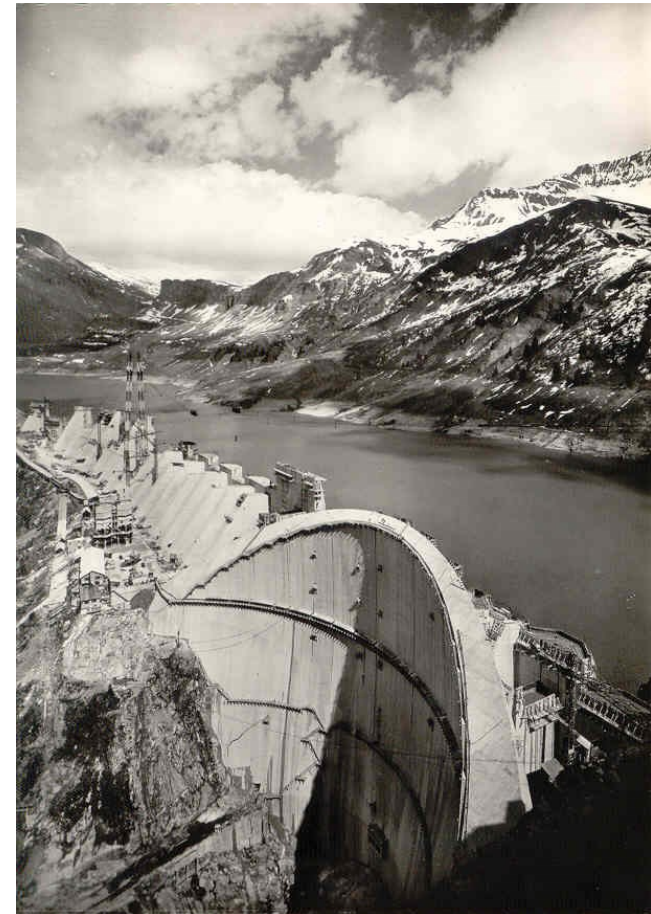


Pieux en bois sous les bâtiments vénitiens

Enjeux et objectifs

Pourquoi la géotechnique est-elle essentielle ?

- **Sécurité** : Garantir la stabilité des ouvrages (éviter les glissements, effondrements, etc.).
- **Optimisation** : Limiter les surcoûts liés aux imprévus géologiques grâce à des études préalables.
- **Durabilité** : Intégrer des solutions respectueuses de l'environnement et durables.
- **Gestion des risques naturels** : Prévoir et atténuer les impacts des séismes, inondations ou tassements.



Construction du barrage de Roselend dans les Alpes

Les aléas géotechniques

Quels aléas peut-on rencontrer ?

- **Instabilité des pentes** → Glissements de terrain, éboulements, affaissements
- **Retraits / gonflements des sols argileux** → Fissuration des bâtiments, déformation des voiries
- **Érosion des sols & cavités souterraines** → Effondrements, instabilités des fondations
- **Liquéfaction des sols (zones sismiques)** → Perte de portance, basculement des bâtiments
- **Sous-pressions et venues d'eau** → Instabilités d'excavation, soulèvement des structures enterrées
- **Mauvaise capacité portante du sol** → Enfoncement des fondations, tassements différentiels, affaissements

La prise en compte de ces aléas est essentielle pour garantir la sécurité et la pérennité des ouvrages !

*Effondrement
d'une route*



*Retrait /
gonflement
des argiles*

Des risques majeurs !



*Effondrement d'un écran de soutènement à **Istanbul en Turquie** suite à des pluies diluviennes*



Réaliser une étude géotechnique

Comment ça se passe concrètement ? Des métiers variés !

Un devis pour un projet

(Ingénieur chargé d'affaires)



Quel est le rôle de l'ingénieur chargé d'affaires ?

- Analyse du besoin
- Chiffrage et planification
- Suivi et gestion du projet



Un devis pour un projet

(Ingénieur chargé d'affaires)

Quels clients ? → Particuliers, entreprises, collectivités, etc.



**VENDÉE
EXPANSION**
à cœur d'être avec vous



Un devis pour un projet

(Ingénieur chargé d'affaires)

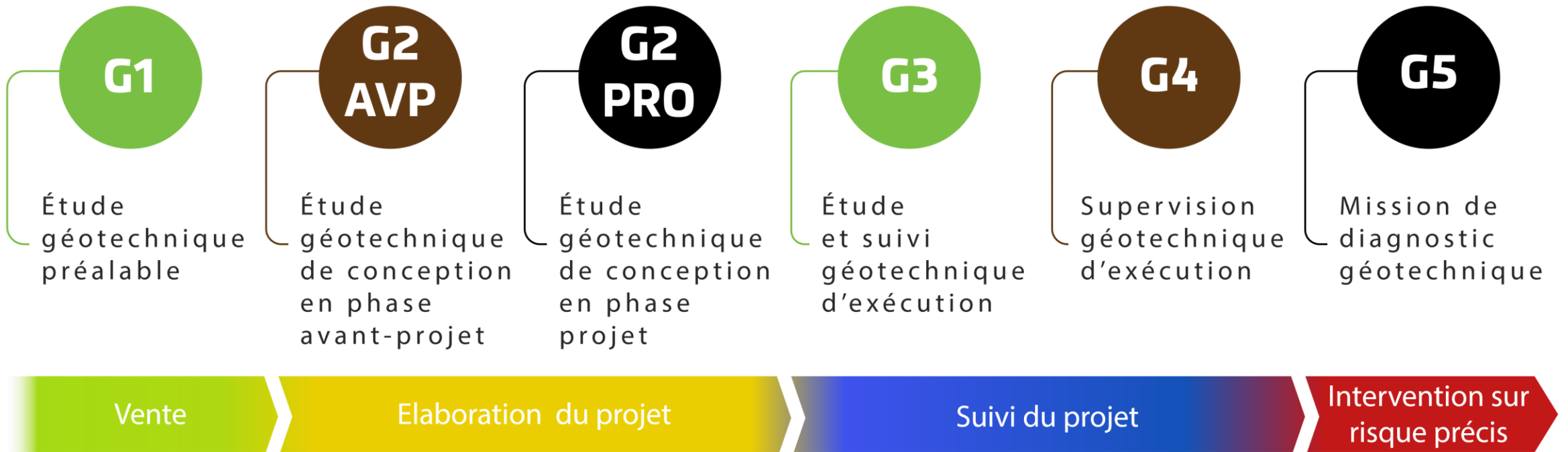
Quels projets ? → Bâtiments, ouvrages linéaires, ouvrages hydrauliques, énergies, etc.



Un devis pour un projet

(Ingénieur chargé d'affaires)

Comment s'organisent les études géotechniques ? Les missions G1 à G5 (cadre réglementaire)



Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Quel est le rôle du conducteur de travaux ?

- Préparation et organisation des chantiers
- Suivi des travaux et gestion technique
- Réception et validation des données terrain



Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Étude de site

- Consultation des données disponibles ou visite du site
- Étude de la topographie, géologie, activités, historique, risques...
- Identifications des potentiels aléas géotechniques

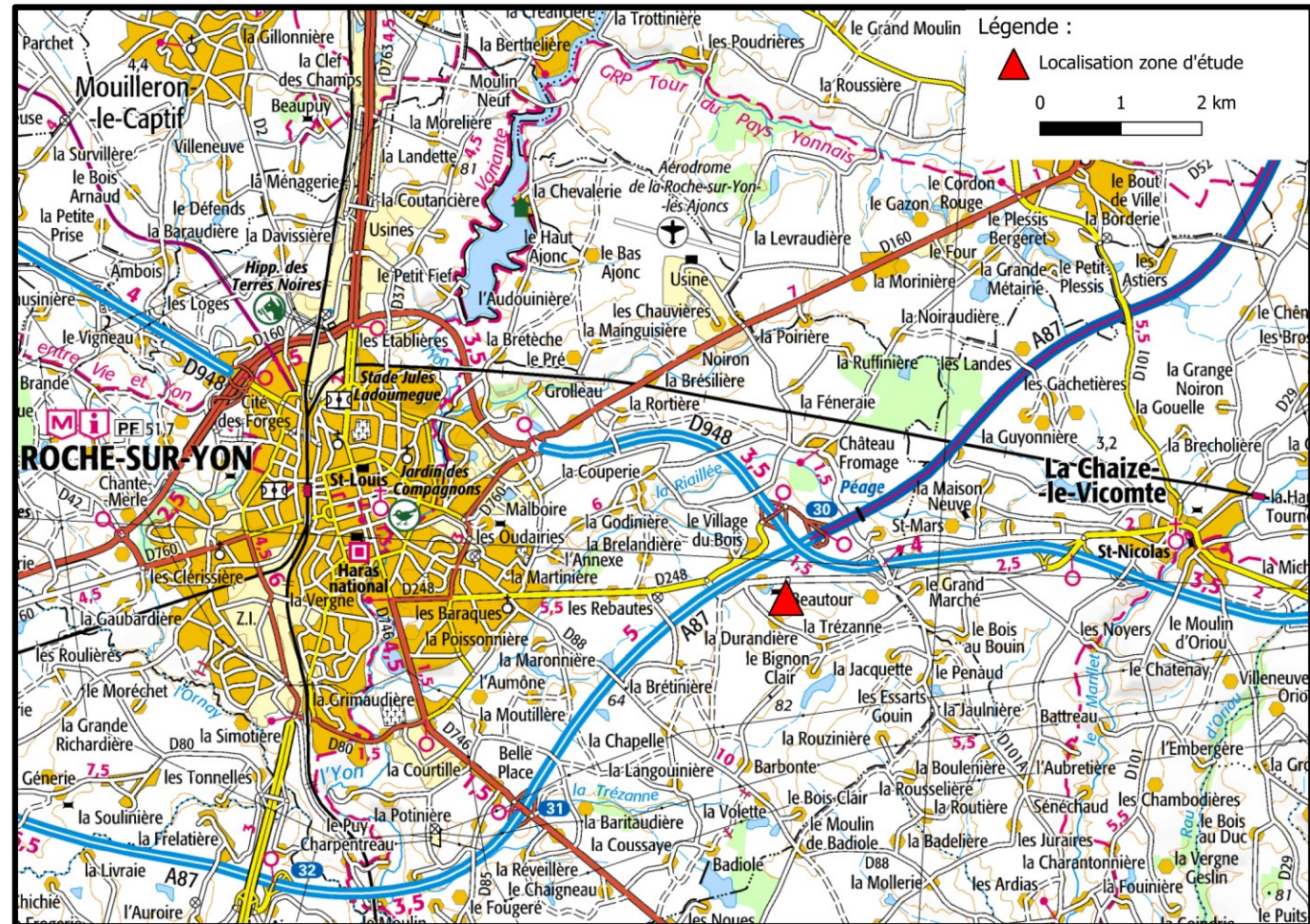
→ Étude de cas (concret) juste après...



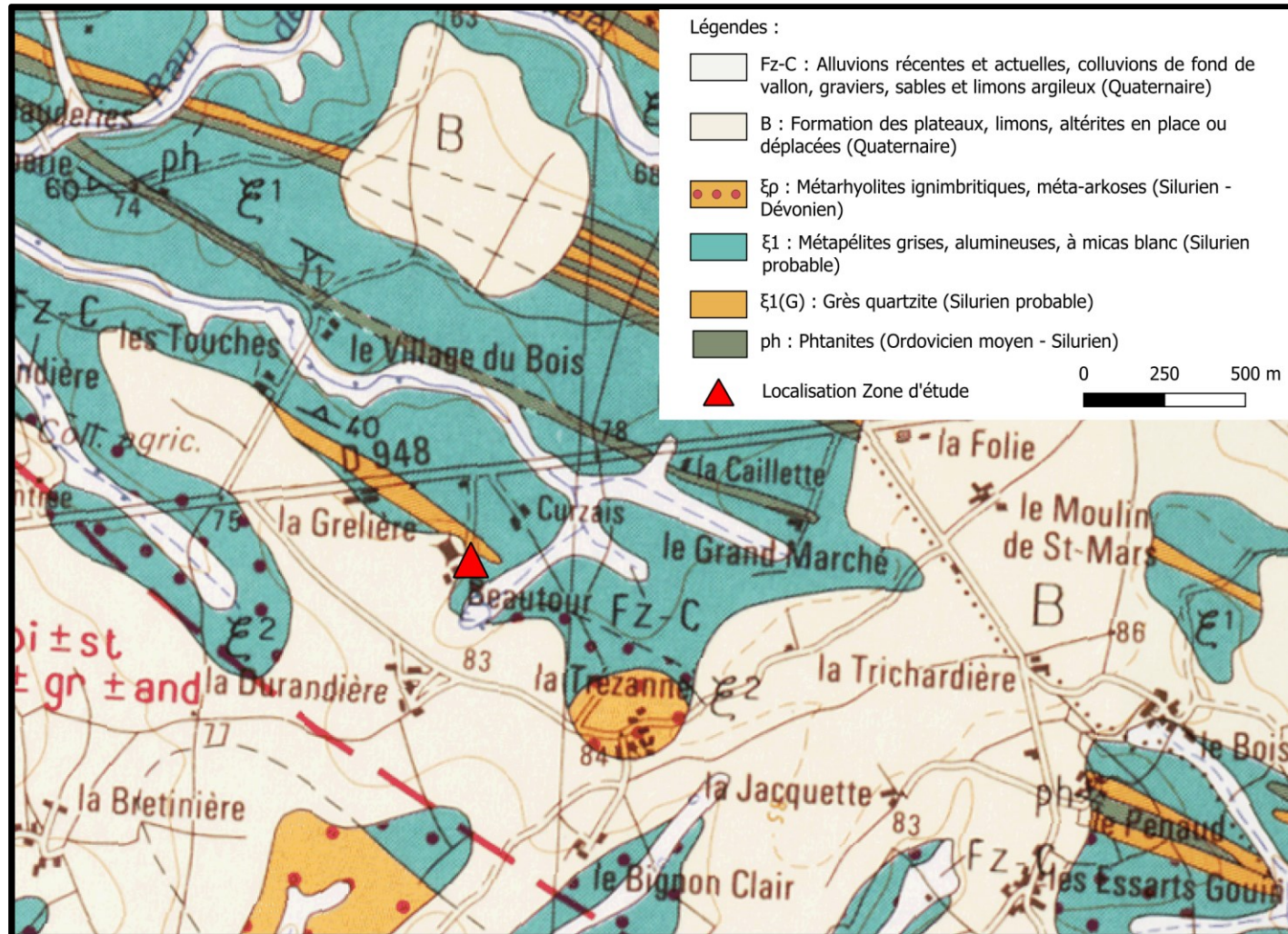
Situation du site (Géoportail)

Le Centre Beautour !

Déterminer la localisation de la zone d'étude

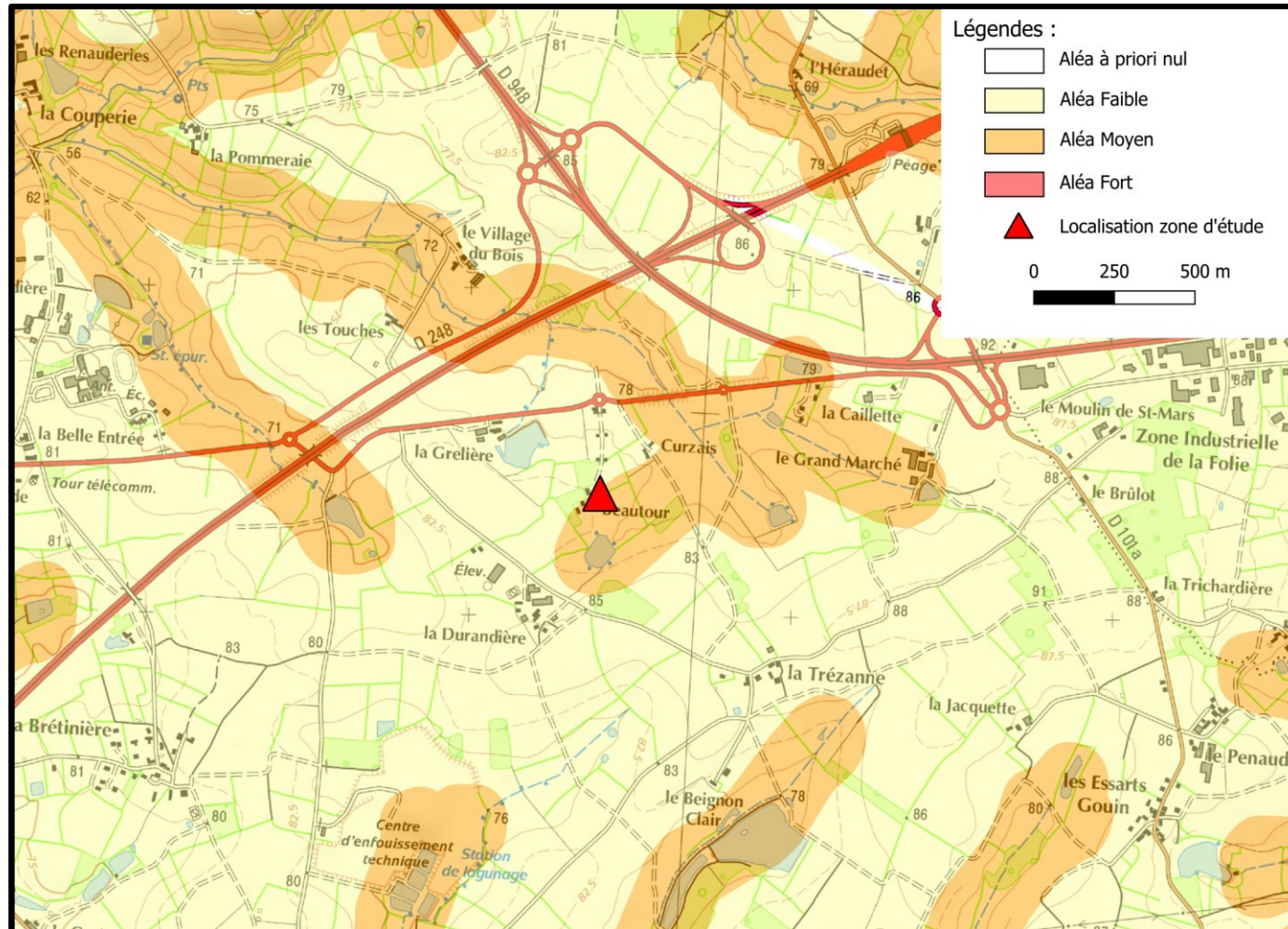


Géologie du site (InfoTerre)



Déterminer la géologie de la zone d'étude

Argilosité des sols (Géorisques)



*Déterminer le risque
d'argilosité de la zone
d'étude*

Photographie aérienne (Remonter le temps)

Déterminer l'évolution de la zone d'étude au cours du temps !



Comparaison d'orthophotographies actuelles et anciennes (1950-1965) du Centre Beautour

Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Les réseaux enterrés : risque majeur en géotechnique !

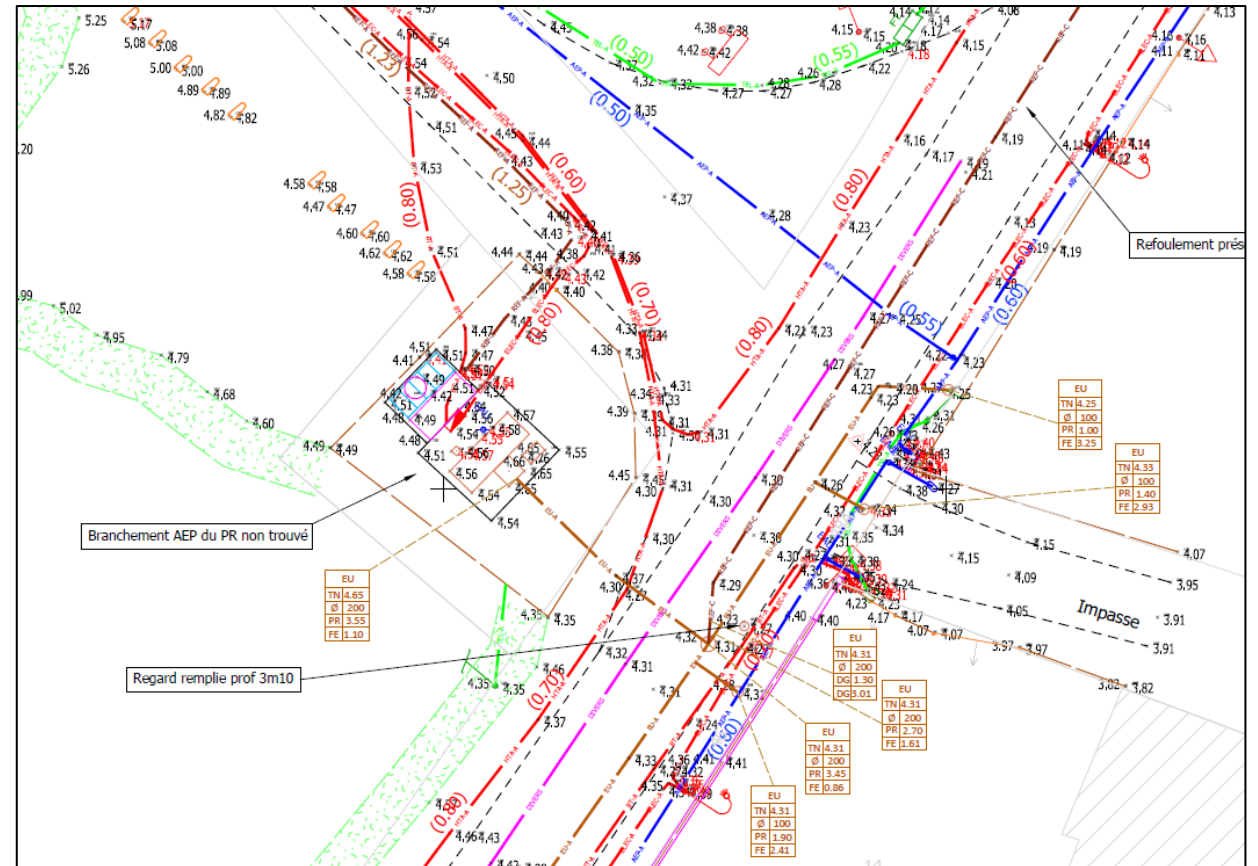


Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Construire sans détruire !

- **Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux** : Présence de réseaux ?
- Les réseaux :
 - **Rouge** : électricité BT/HT, éclairage, signalisation routière, etc.
 - **Jaune** : Gaz combustibles et hydrocarbures
 - **Orange** : Produits chimiques
 - **Bleu** : Eau potable
 - **Marron** : Assainissement et pluviale
 - **Violet** : Climatisation et chauffage
 - **Vert** : Télécommunication
 - Blanc : Tracés de travaux (ou noir en fonction su sol)
 - **Rose** : Multi-réseaux
- Investigations complémentaires si nécessaire (détection)



Plan des investigations complémentaires

Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Accessibilité

- Vérification accès machine
- Accès difficiles : grutage, atelier nautique, cordiste...



Auscultation de falaise



Plateforme auto-élévatrice



Mini-grue araignée

Préparation de la campagne de sondages

(Conducteur de travaux)

Implantation des sondages

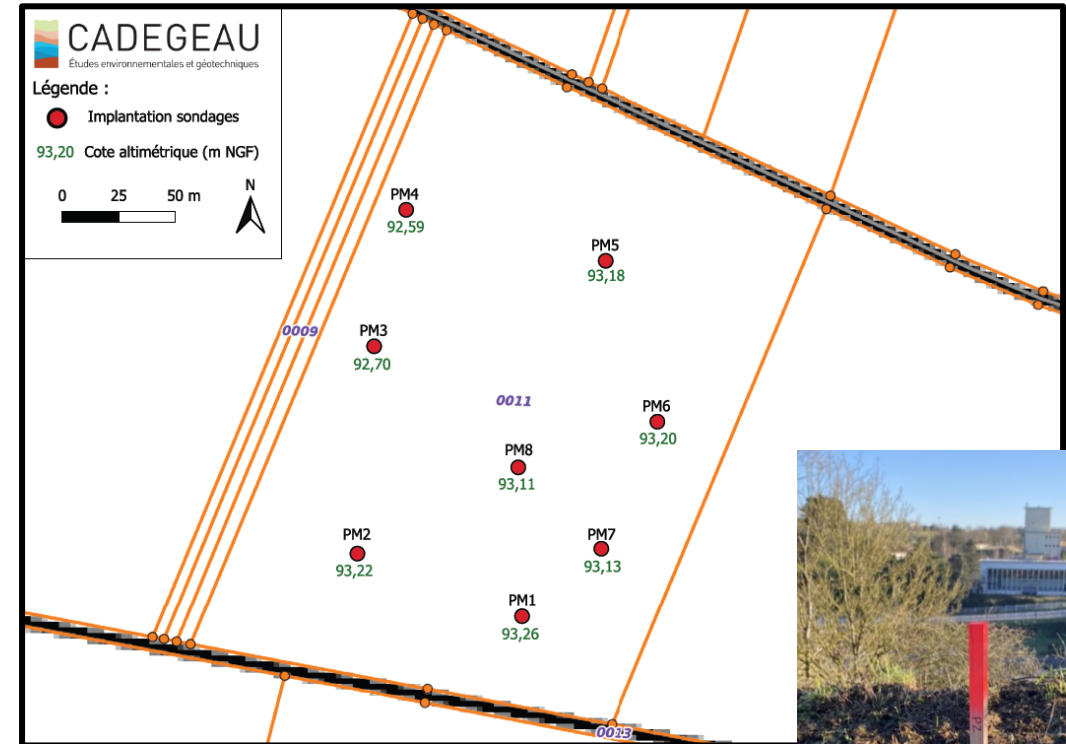
- Plan d'implantation
- Levé au GPS ou niveau laser



Laser



GPS



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)



Quel est le rôle du sondeur ?

- Réalisation des sondages
- Conduite et entretien des foreuses et équipements de forage
- Prélèvement et conditionnement des échantillons de sol et de roche
- Réalisation des essais in-situ

Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Quels sont les engins utilisés ?

Les foreuses : adaptées aux besoins du terrain

- **Foreuse légère** (portative, sur chenilles compactes)
 - Accès restreint (intérieur de bâtiment, forêt, pente)
 - Profondeur max : 10-20 m
- **Foreuse standard** (sur chenilles)
 - Polyvalente : sols meubles à roche
 - Profondeur max : 20-50 m
- **Foreuse lourde** (grands travaux)
 - Haute puissance, adaptée aux grandes profondeurs
 - Profondeur max : 50-100 m et +
- **Sondeuse pénétrométrique**
 - Essais de pénétration dynamique/statique
 - Permet d'évaluer la compacité et la portance des sols

Pelle mécanique avec tarière ou godet

- Sondages de surface, reconnaissance de fondations

Le choix de l'engin dépend de l'accessibilité, de la géologie et des objectifs de l'étude.



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Quels sont les principaux types de sondages géotechniques ?

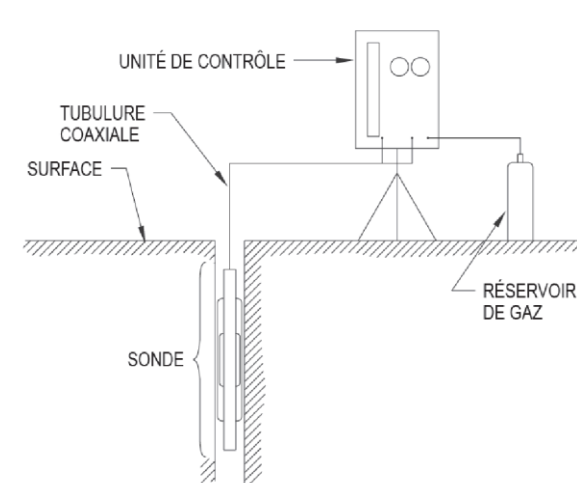
Reconnaissance des sols et roches

- **Sondage carotté** : Prélèvement continu pour analyse stratigraphique
- **Forage destructif** : Forage sans échantillon pour implanter des instruments
- **Tarière mécanique** : Forage semi-destructif, adapté aux sols meubles
- **Fouilles à la pelle** : Observation directe des horizons et évaluation de la terrassabilité

Essais in-situ

- **Essai pressiométrique** : Déformabilité et résistance du sol
- **Essai pénétrométrique** : Portance et compacité (dynamique ou statique)
- **Reconnaissance de fondations** : Vérification de l'ancrage, de la géométrie et de l'état des ouvrages existants
- **Essai de perméabilité** : Mesure de la conductivité hydraulique (Matsuo, Lefranc, Porchet)

Choix adapté selon la nature du sol et les objectifs de l'étude !



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Pénétromètre dynamique



Sondage destructif



Carottage



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Description des sols et roches

- **Nature** : Argile, limon, sable, gravier, roche...
- **Texture & granulométrie** : Fin, grossier, homogène, hétérogène
- **Couleur** : Indicateur de composition et d'oxydation
- **État hydrique** : Sec, humide, frais, saturé en eau
- **Cohésion & consistance** : Plastique, meuble, compact, lâche

Échantillonnage sur le terrain

- **Types d'échantillons** :
 - **Remaniés** : Identification visuelle, essais granulométriques
 - **Intactes** : Essais mécaniques en laboratoire (cisaillement, œdomètre...)
- **Conditionnement** :
 - Étiquetage précis (profondeur, sondage, date, type de sol)
 - Stockage en sac plastique ou tube scellé pour préserver l'humidité

Une bonne description sur le terrain est essentielle pour une analyse fiable en laboratoire !

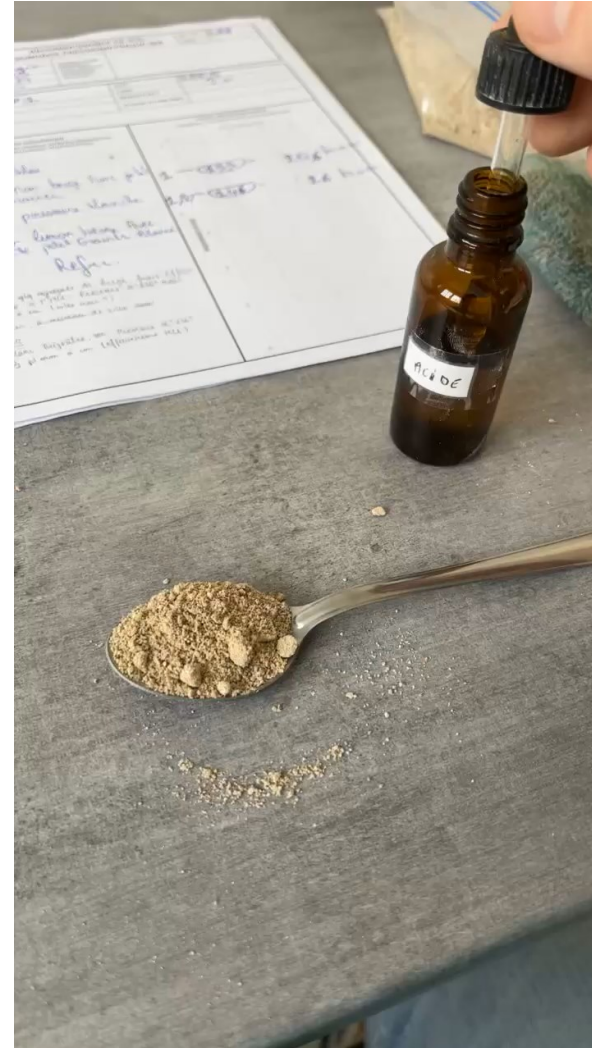


Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Description des sols et roches

- Utilisation de l'acide chlorhydrique pour confirmer la présence de sol carbonaté



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

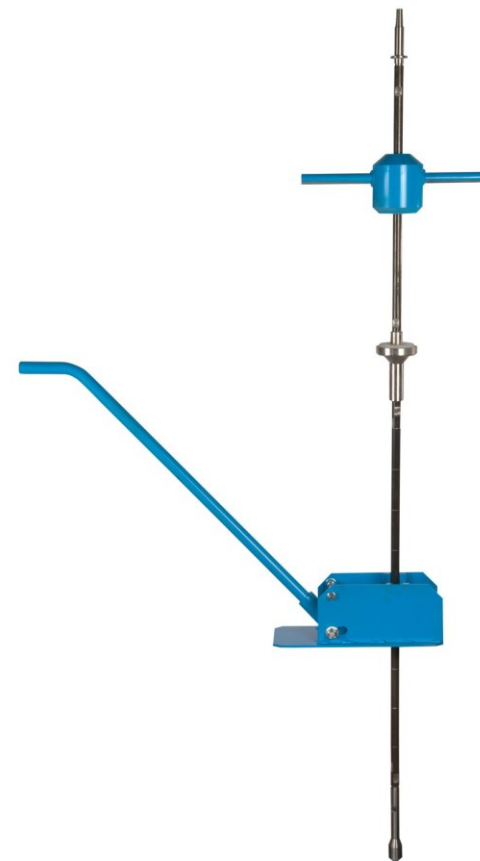
Atelier n°1 : réalisation de sondages à la tarière à main et au pénétromètre dynamique léger en extérieur

Quelques outils et de l'huile de coude !

Tarière à main



Pénétromètre léger



Réalisation des investigations in-situ

(Sondeur)

Atelier n°2 : description de sols et roches désagrégés et intacts (carotte)

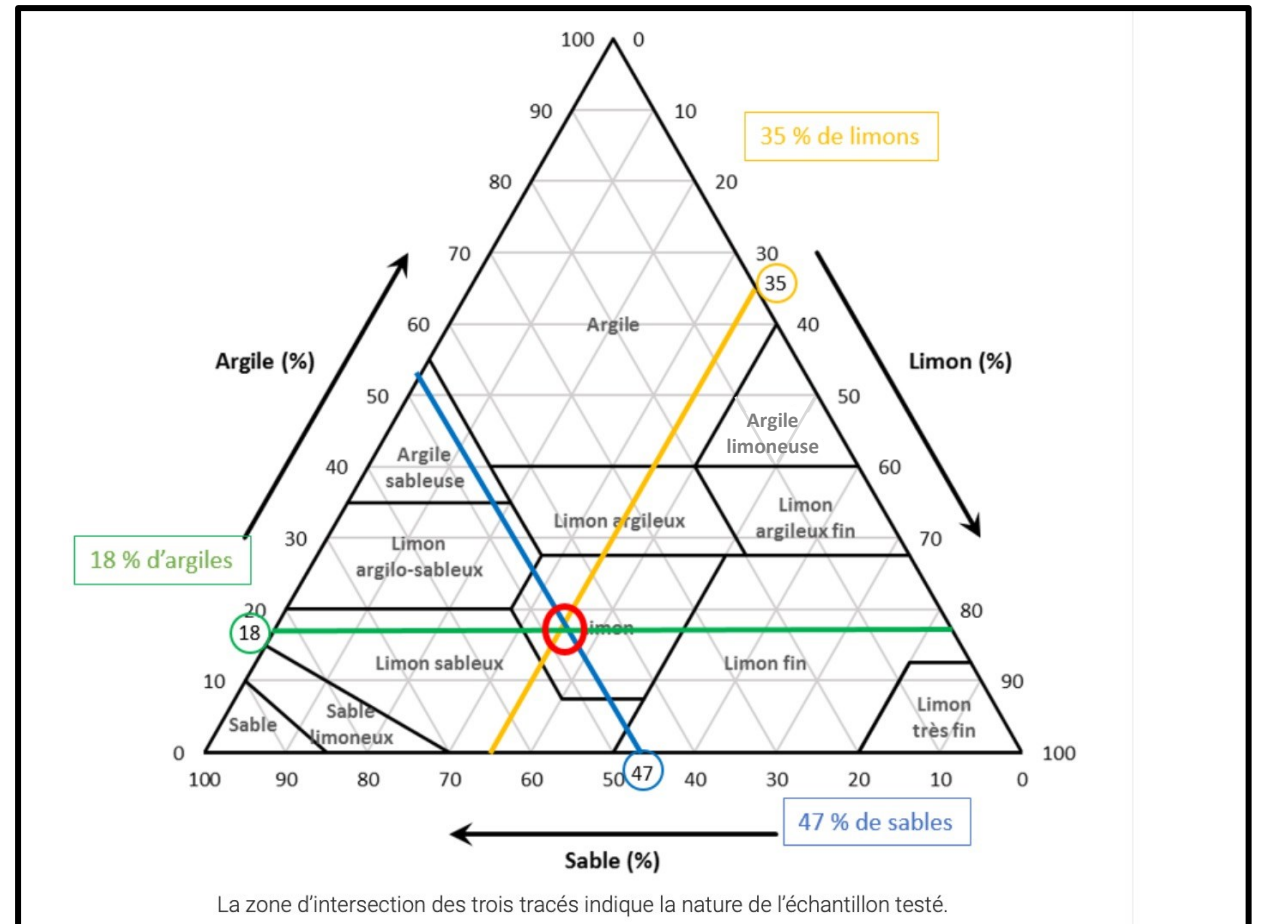


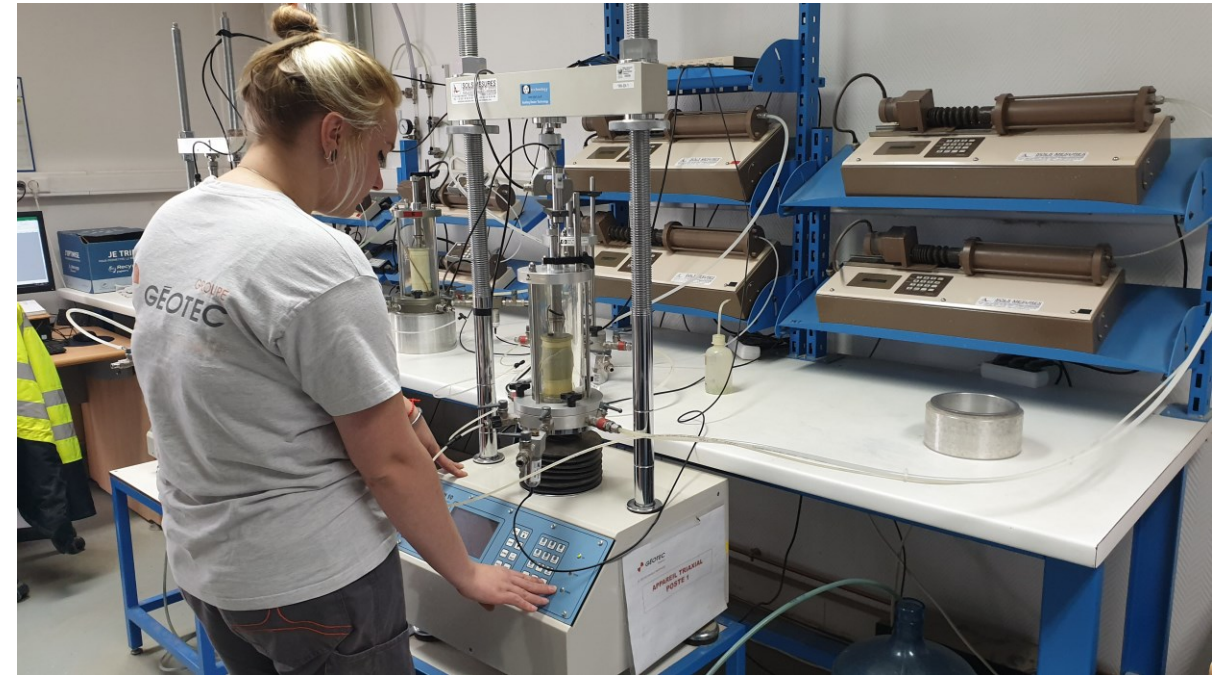
Diagramme ternaire pour l'identification d'un sol

Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Quel est le rôle du laborantin ?

- Réalisation d'essais en laboratoire
 - Limites d'Atterberg, Proctor, classification GTR, cisaillement, œdomètre, etc.
- Préparation et traitement des échantillons
 - Séchage, tamisage, découpe, étiquetage
- Saisie et transmission des résultats
- Suivi du matériel et gestion qualité



Laboratoire de mécanique des sols

Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Classification GTR

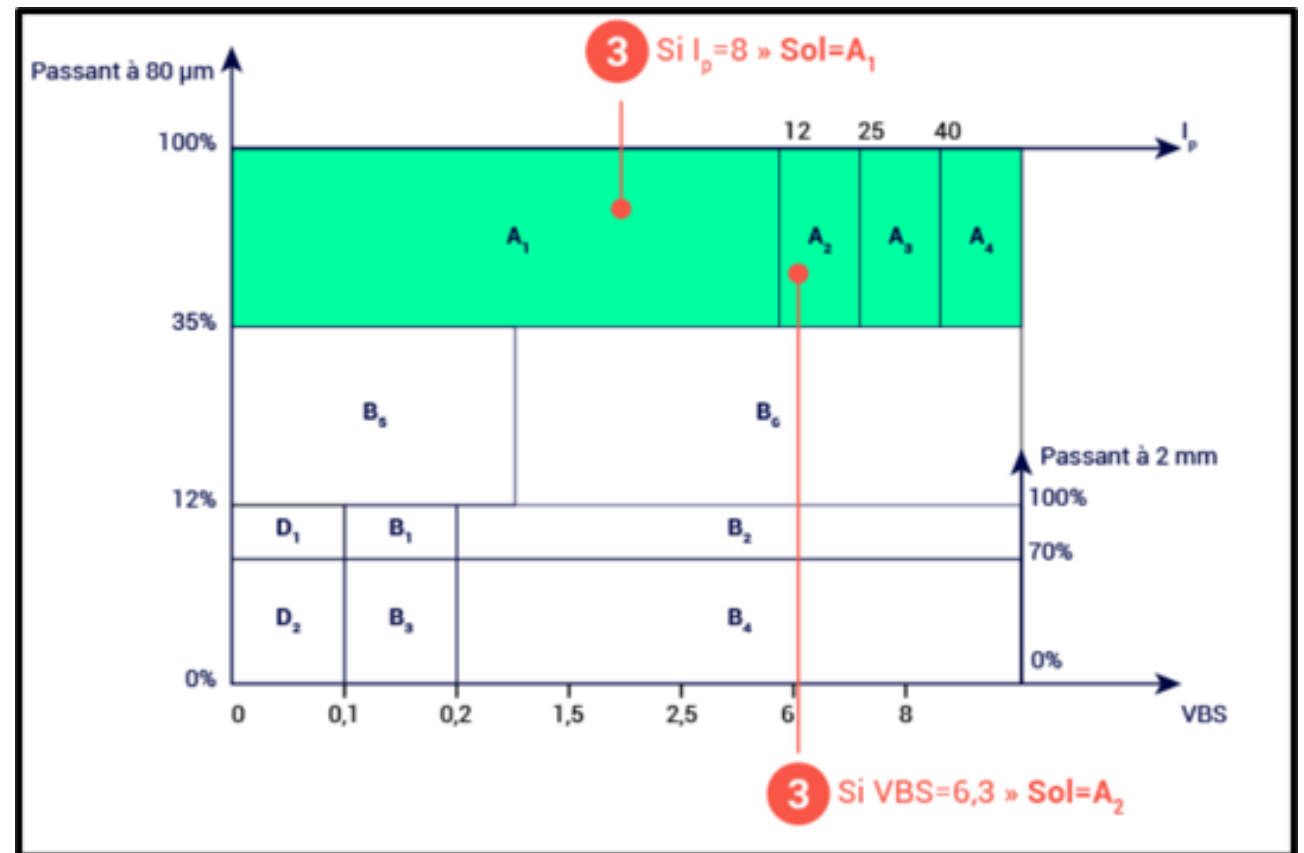
- Déterminer une classe de sol
- Proposer des conditions de réemploi des matériaux

Classe A : sols fins

Classe B : sols sableux/graveleux avec des fines

Classe C : Sols fins avec des gros éléments

Classe R : Roche en place (CiAi ou CiBi après extraction)

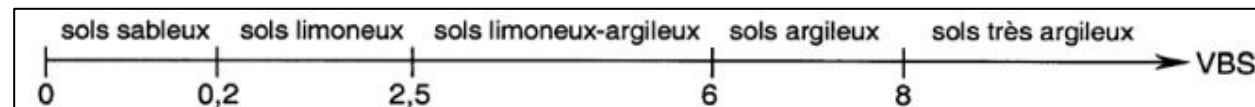


Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Valeur au Bleu du Sol (VBS)

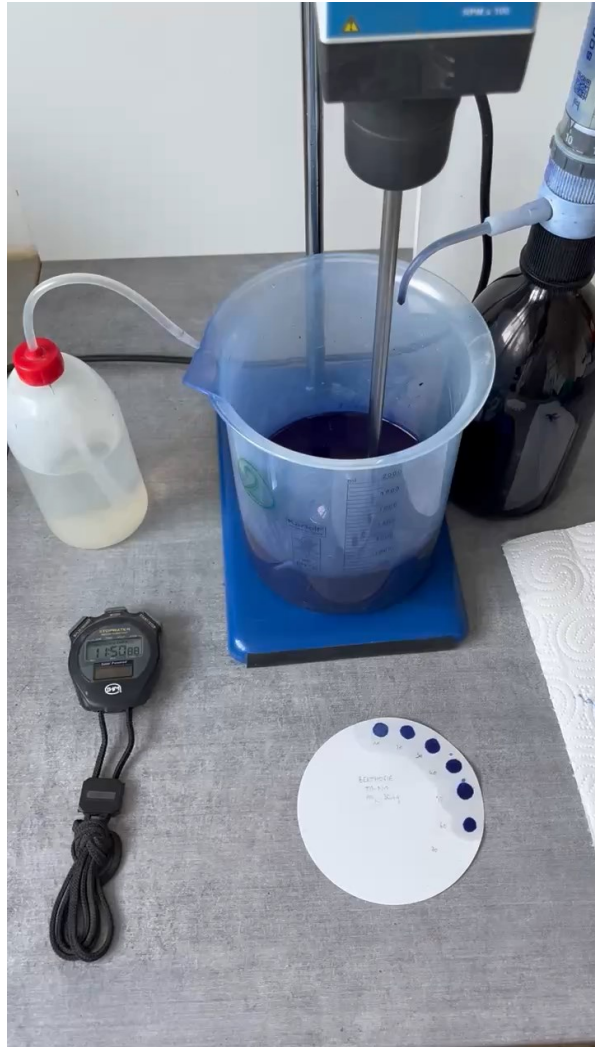
- Déterminer la teneur en argiles



Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Essai au bleu de méthylène



Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Limites d'Atterberg

- Déterminer la classification d'un sol (sols fins) avec 2 limites :
- Limite de liquidité W_L
- Limite de plasticité W_P
- Indice de plasticité I_P ($W_L - W_P$)



Détermination de la W_L avec l'appareil de Casagrande

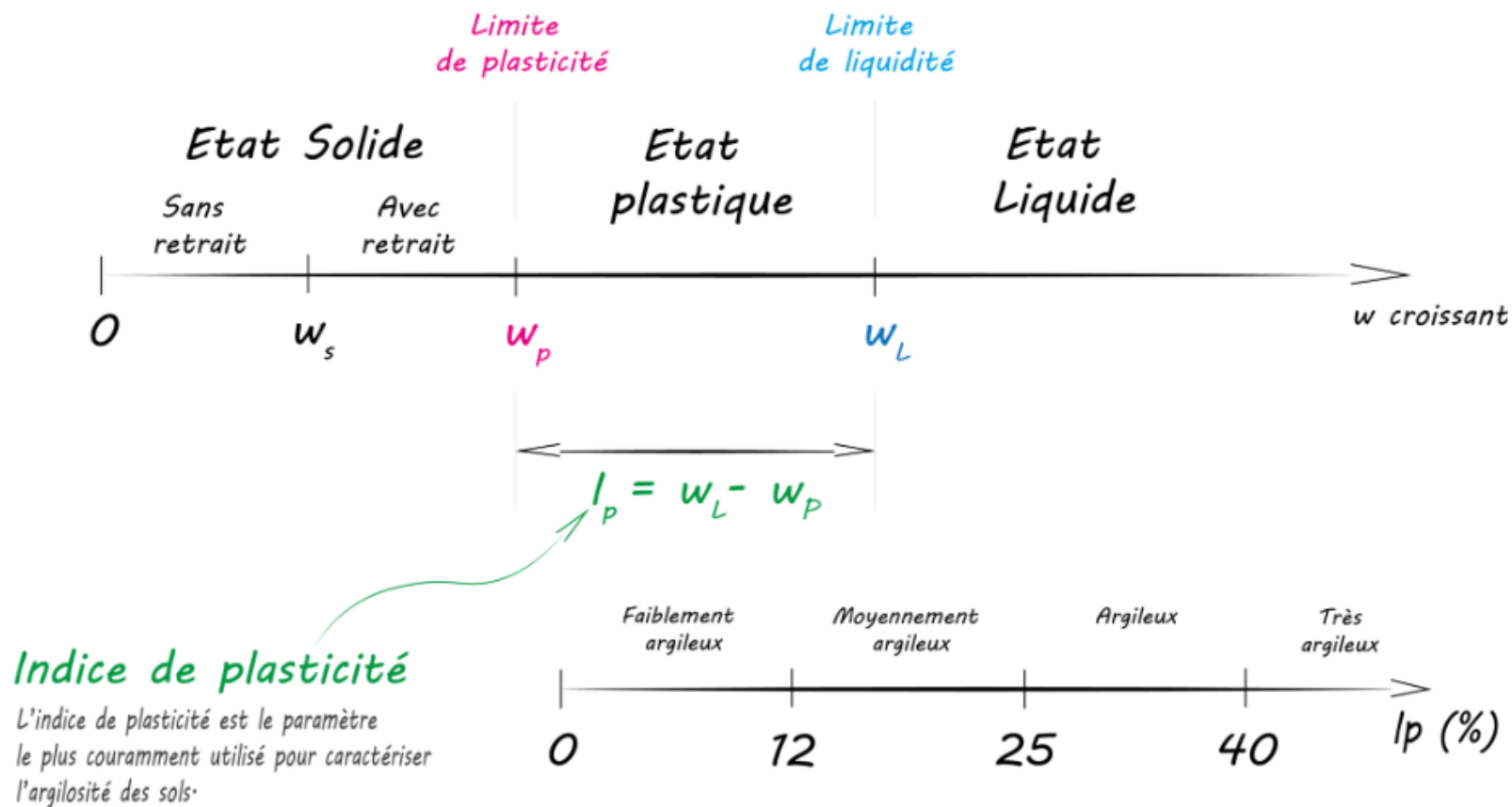


Détermination de la W_P avec la technique du "boudin"

Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Limites d'Atterberg



Réalisation des essais en laboratoire

(Laborantin)

Granulométrie par tamisage

- Déterminer le pourcentage de passant pour chaque tamis



Lavage dans un tamis fin



Tamisage



Pesée

Réalisation des essais en laboratoire

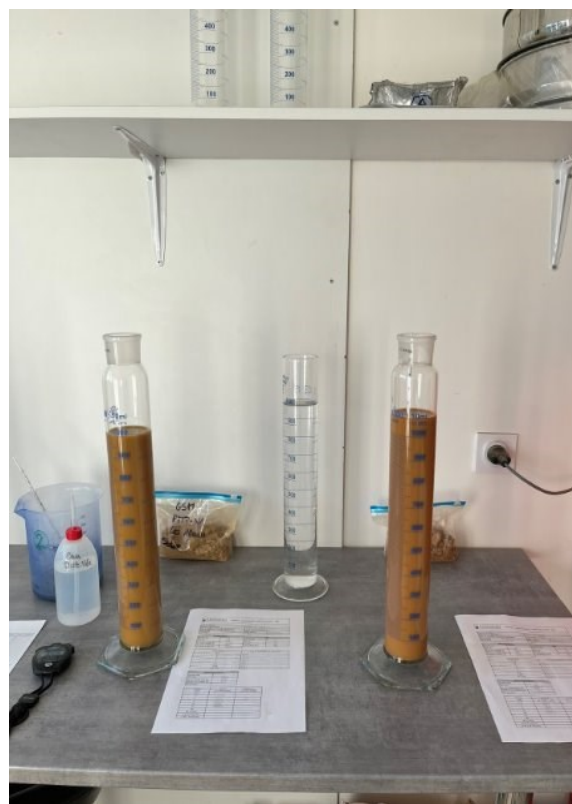
(Laborantin)

Sédimentométrie

- Déterminer le pourcentage d'argiles dans un sol



Décantation et séchage



Essai en cours



Mesure de la densité

Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Quel est le rôle de l'ingénieur chargé d'études ?

- Analyse des données de terrain (sondages, essais)
- Élaboration des modèles géologiques et géotechniques
- Calculs de dimensionnement des fondations, soutènements, terrassements
- Rédaction des rapports d'étude (missions G1 à G5)
- Assistance technique auprès des clients et suivi des chantiers



Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

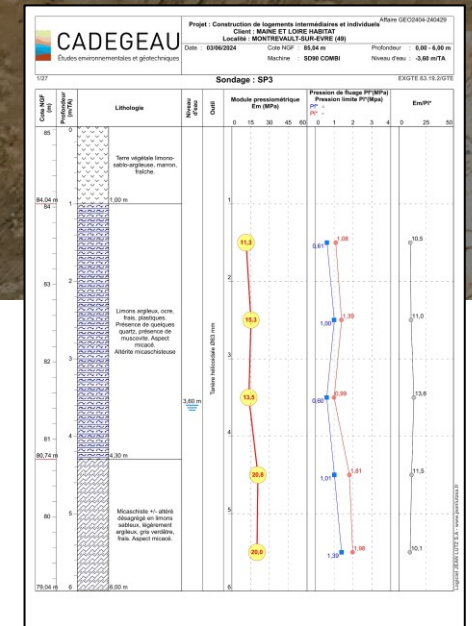
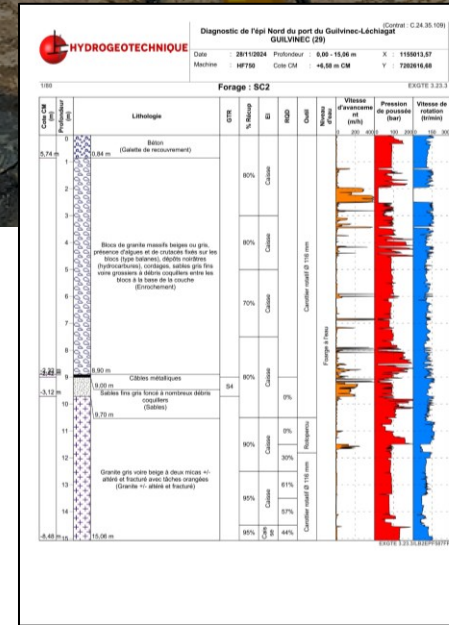
Dépouillement des données de terrain

- **Analyse des sondages** : Profondeur des couches, nature des sols
- **Corrections et homogénéisation des descriptions**
- **Interprétation des essais** : Pressiométrie, pénétrométrie, perméabilité...

Élaboration du modèle géologique

- **Construction des coupes stratigraphiques** :
 - Identification et corrélation des horizons géologiques
 - Définition des interfaces et structures du sous-sol
- **Détermination des paramètres du sol** :
 - Cohésion, angle de frottement, densité
 - Perméabilité, compressibilité

Objectif : Représenter au mieux le comportement du sol pour adapter les fondations et ouvrages



Procès-verbaux de sondages



Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Analyse des résultats et évaluation des aléas

- **Nature des sols** : Argiles, sables, remblais...
- **Paramètres géotechniques** : Perméabilité, compacité, portance
- **Présence de l'eau** : Niveau de la nappe, risques de sous-pressions

Identification des aléas majeurs

- **Selon les caractéristiques du site, les principaux risques peuvent inclure :**
 - **Gonflement/retrait** des argiles → Fissurations des structures
 - **Risque de liquéfaction** (sables peu cohérents et nappe proche)
 - **Portance insuffisante** → Risque d'affaissement
 - **Érosion ou instabilité des pentes** → Glissements de terrain
 - **Sous-pressions hydrostatiques** → Soulèvement d'ouvrages enterrés

Interprétation & recommandations

- **Comparaison des résultats avec les exigences du projet**
- **Mise en évidence des zones critiques nécessitant un traitement spécifique**
- **Adaptation des fondations et solutions de stabilisation si nécessaire**

Objectif : Anticiper et traiter les risques pour assurer la pérennité des ouvrages !



Plan du projet

Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Les terrassements

Excavation & stabilité

- **Talus** (si espace disponible) → définition des pentes
- **Présence d'eau** → risque d'éboulement, nécessité de soutènements (parois berlinoises, palplanches)
- **Terrains sensibles** (argiles gonflantes, cavités...) → méthodes adaptées

Gestion des déblais et remblais

- **Sélection des matériaux** (granulométrie, plasticité, compactabilité)
- **Compactage contrôlé** en couches de 30-40 cm avec contrôle de densité
- **Éviter les matériaux trop humides** avec des mesures de la teneur en eau durant le chantier

Protection & drainage

- **Drainage et/pompage des fouilles** pour éviter la montée d'eau
- **Pose de géotextiles si sols sensibles** (argiles, sables fins)
- **Gestion des eaux pluviales** pour éviter les affouillements

Un bon terrassement garantit la stabilité et la durabilité des ouvrages !



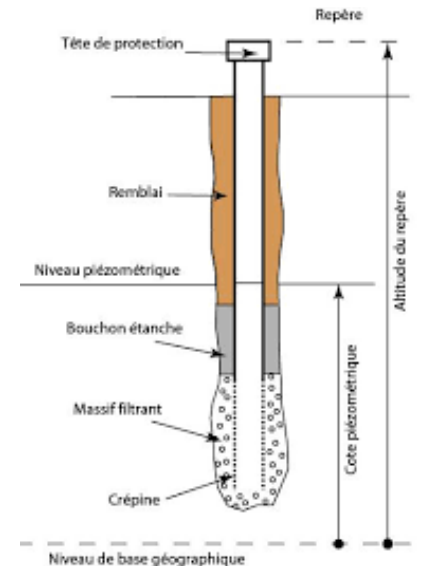
Excavation pour la création d'un sous-sol

Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Gestion des eaux

- **Suivis piézométriques**
→ Niveaux de nappe mesurés dans le temps (saisonnalité, réactivité)
- **Études hydrogéologiques**
→ Détermination des **niveaux caractéristiques** : hautes eaux, basses eaux
- **Pompage & drainage**
→ Estimation des **débits à extraire** / Prévission des dispositifs de rabattement de nappe
- **Étanchéification / Cuvelage**
→ Protection des structures enterrées contre les infiltrations
- **Sous-pressions hydrostatiques**
→ Risque de **flottaison** / soulèvement des ouvrages
→ Vérifications et dimensionnements associés



Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Quels sont les différents types de fondations ?

Fondations Superficielles

- Semelles isolées → Poteaux
- Semelles filantes → Murs porteurs
- Radiers → Ouvrages répartissant les charges

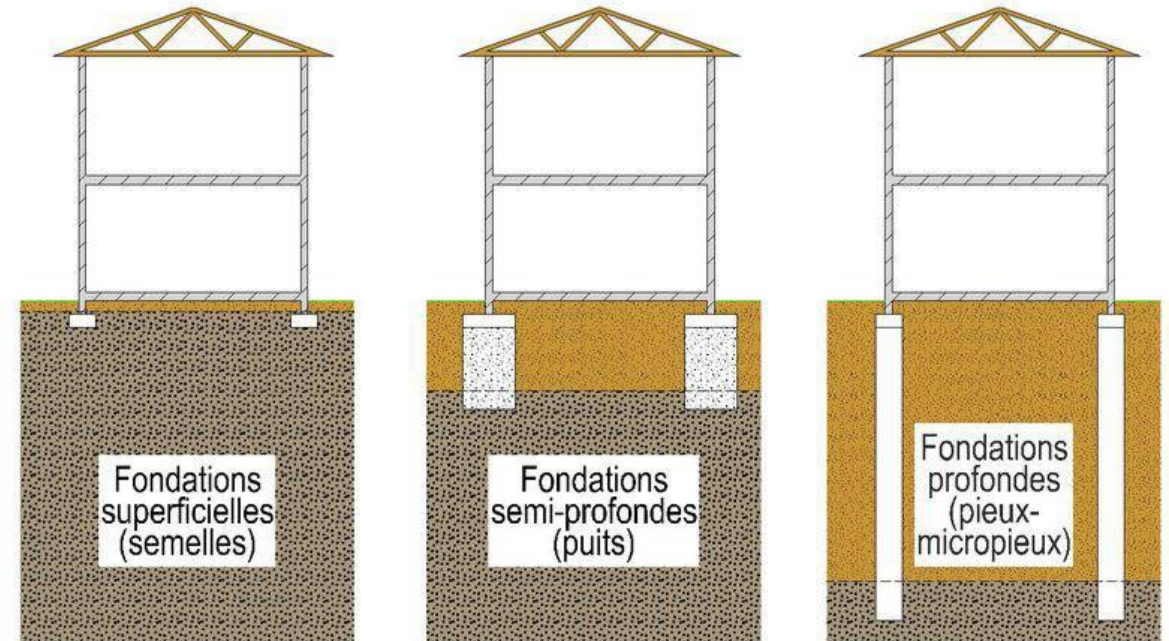
Fondations Semi-Profondes

- Massifs ou puits

Fondations Profondes

- Pieux battus, forés, vissés
- Micropieux

Objectif : Adapter le type de fondation aux charges et au sol pour garantir stabilité et durabilité

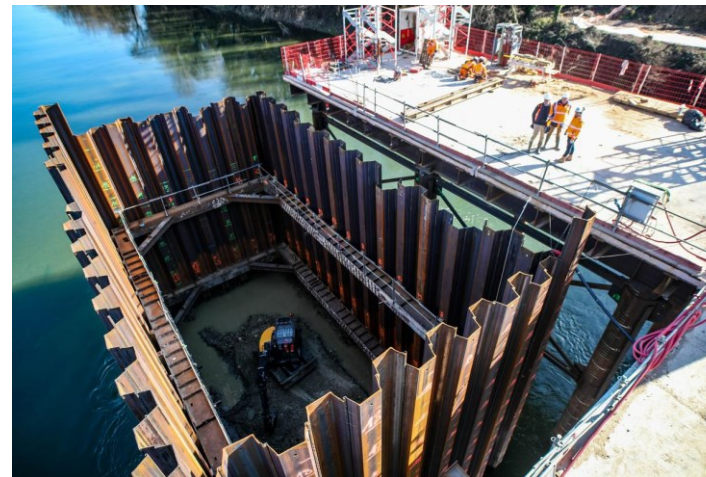
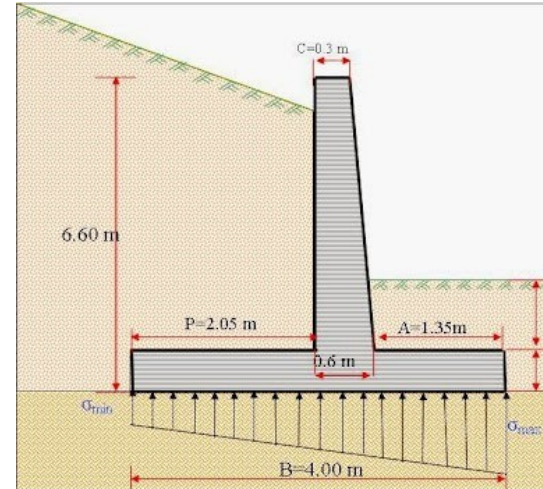


Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Quels sont les types d'ouvrages de soutènement ?

- **Murs poids** : Massifs en béton ou en maçonnerie, stabilisés par leur propre poids.
- **Murs en béton armé** : Structures en T ou L inversé, stabilisées par un talon et un ancrage au sol.
- **Parois berlinoises** : Pieux espacés avec écrans en bois ou en métal, utilisées en milieu urbain.
- **Parois moulées** : Éléments en béton coulé dans des tranchées profondes, adaptées aux fouilles profondes.
- **Soutènements cloués** : Sol renforcé par des clous ancrés dans le massif, souvent projeté avec un béton.
- **Écrans de palplanches** : Tôles métalliques battues dans le sol pour retenir les terres, notamment en milieu humide.
- Et autres ...



Une grande variété de solution !

Ingénierie géotechnique

(Ingénieur chargé d'études)

Clôture d'une étude géotechnique

- **Rendu du rapport**
→ Livrable principal remis au client (G2, G5, etc.)
- **Suivi de chantier (si mission élargie)**
→ G3 : Étude d'exécution
→ G4 : Supervision et validation des travaux géotechniques
- **Et après ?**
→ Rien ne vaut la **fierté** de repasser devant un ouvrage qu'on a aidé à faire sortir de terre !





Conclusion et perspectives

Quel est l'avenir du métier de géotechnicien ?



Conclusion et perspectives

- Discipline peu connue mais indispensable à la construction
- Métier passionnant et très diversifié
- Des études qui deviennent obligatoires : **réglementation favorable !**
- Adaptation du métier aux enjeux de décarbonation (machines électriques ? base de données de sondages ?)
- **Changements climatiques** (sécheresses, montée du niveau marin, inondations) : expertise incontournable face aux risques à venir !

« Si vous essayez de bâtir pour le futur, il faut couler des fondations solides. »

... ET NOUS POURRIONS GAGNER
3 SEMAINES EN NE FAISANT PAS
D'ÉTUDE DE SOL...



Merci pour votre attention !

Avez-vous des questions ?

Présenté par Quentin GAUTHIER & Bastien CASSERON