

Le rôle de la géotechnique dans les grands projets

CFMS, 13 octobre 2010

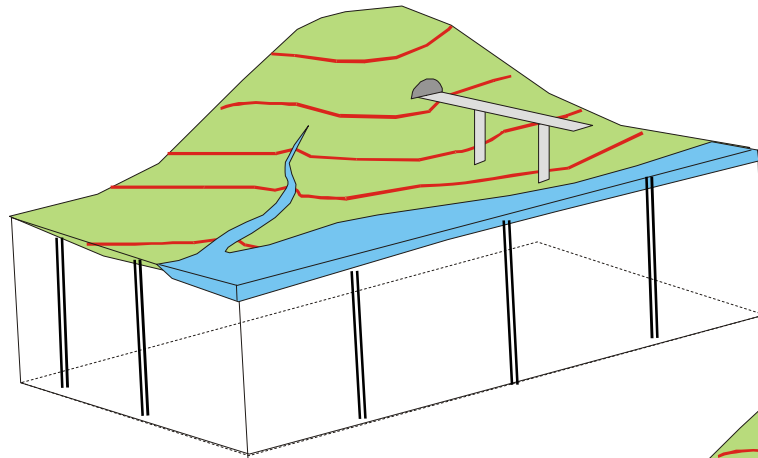
L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ET SON ADAPTATION AUX GRANDS PROJETS

Jean-Pierre Magnan, LCPC

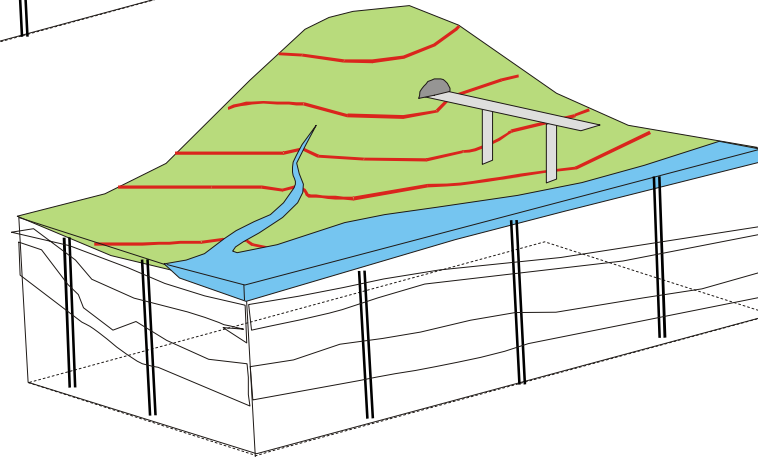
Préambule

- L'étude géotechnique fournit le modèle de terrain pour la conception et le calcul des ouvrages.
- Il y a des outils et principes de reconnaissance, mais pas de modèle ou de modèles.
- La reconnaissance est adaptée au risque (aléa x valeur des dégâts en cas de sinistre)

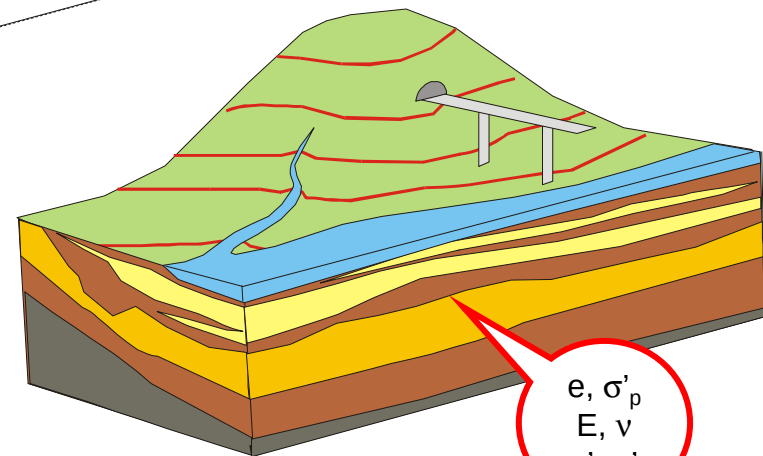
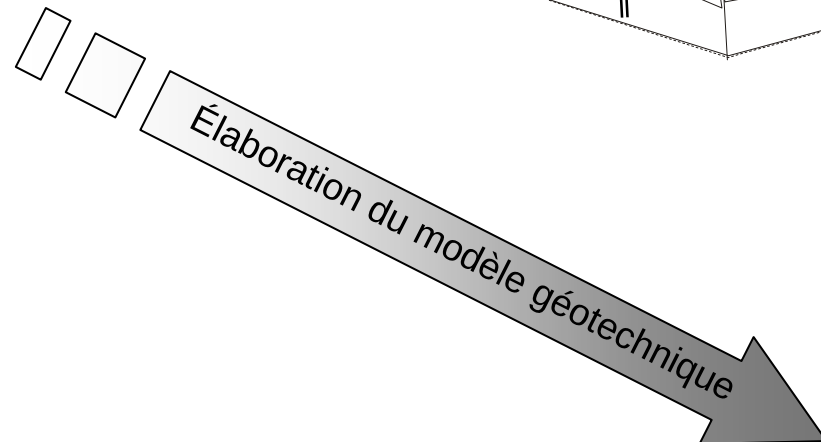
Progression de la reconnaissance géotechnique



Observations, sondages,
géophysique



Essais en
place et en
laboratoire



e, σ'_p
 E, ν
 c', ϕ'

L'étude géotechnique fournit le modèle de terrain pour la conception et le calcul des ouvrages...

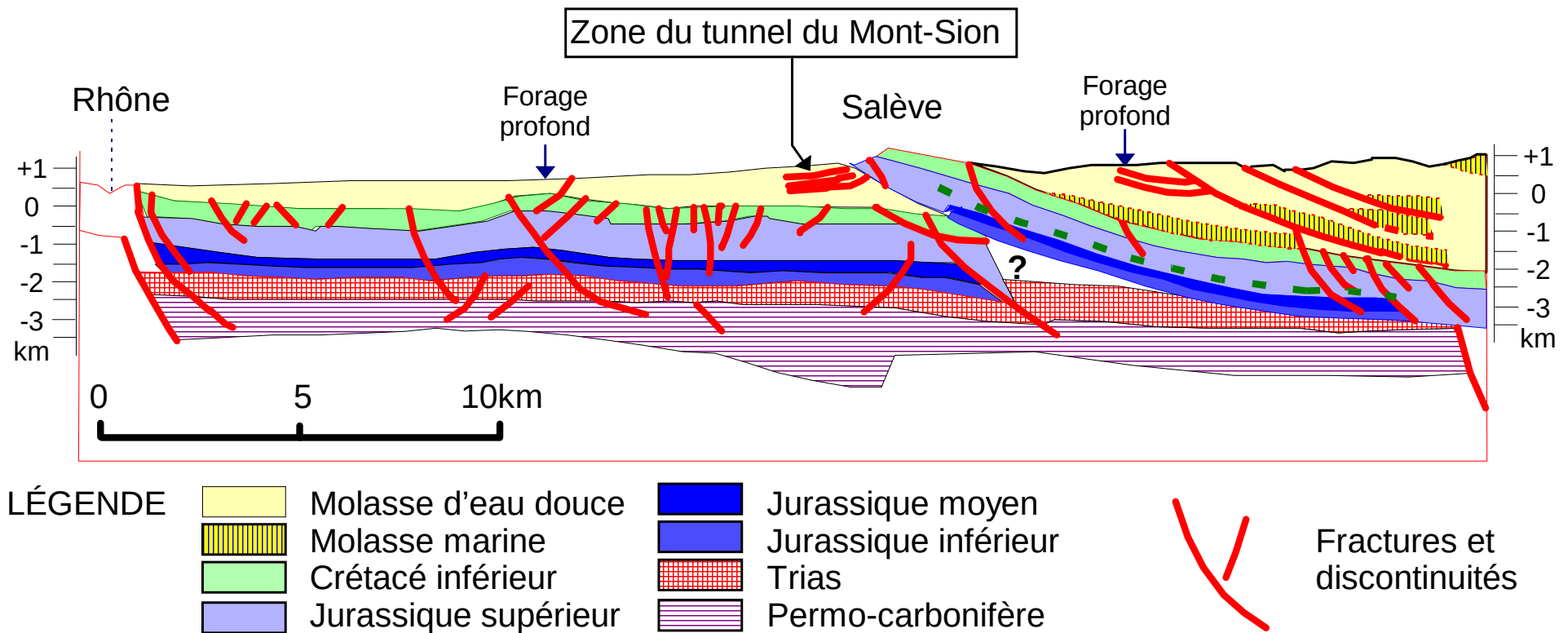
- mais quels ouvrages ?

Des tunnels



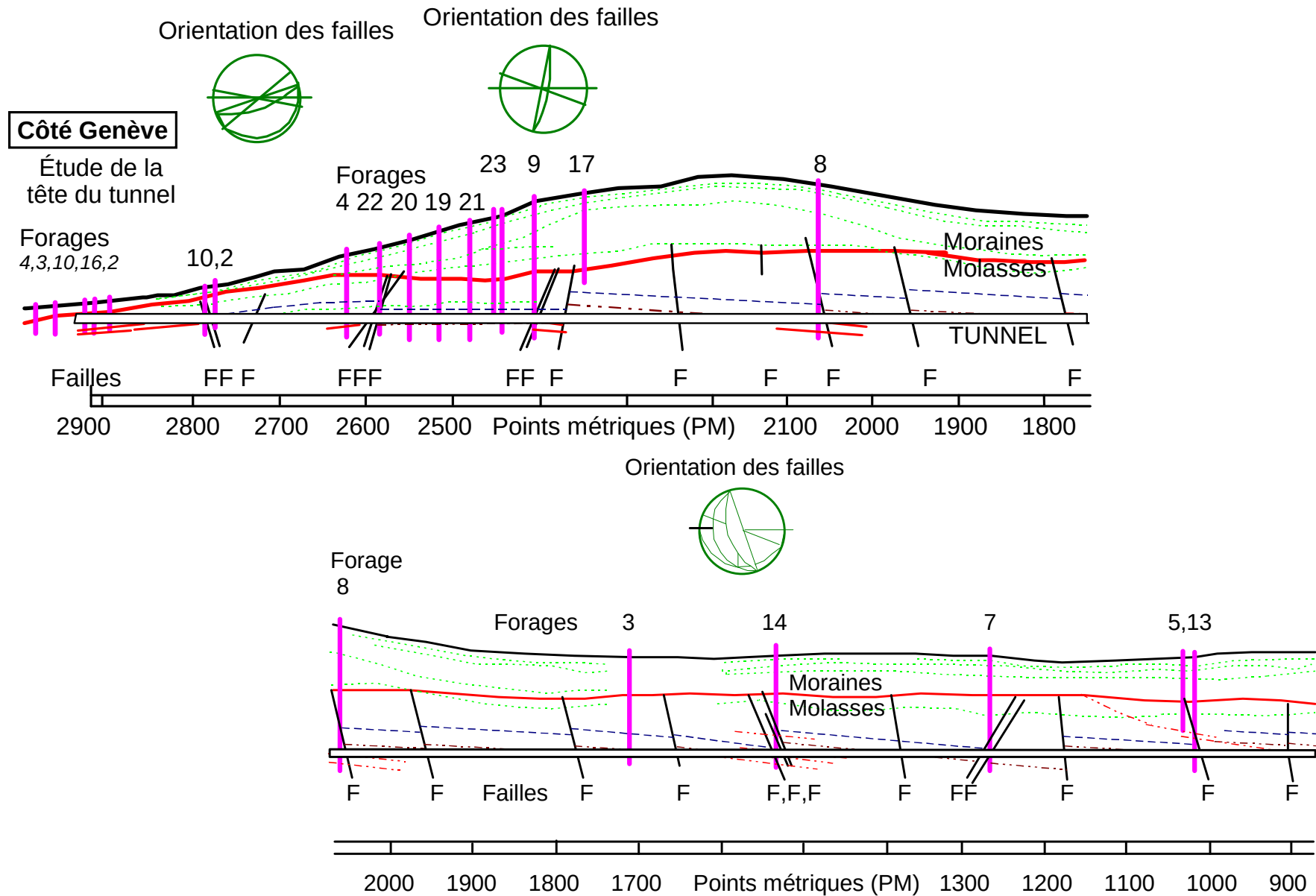
Petits, plus grands, dans des roches, dans des sols...

Tunnel du Mont Sion (autoroute d'Aix-les-Bains à Genève)

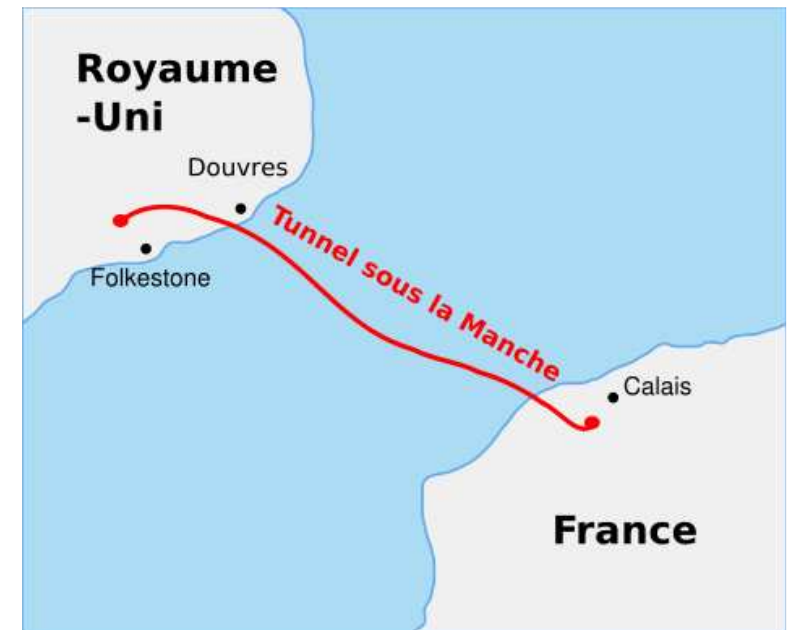
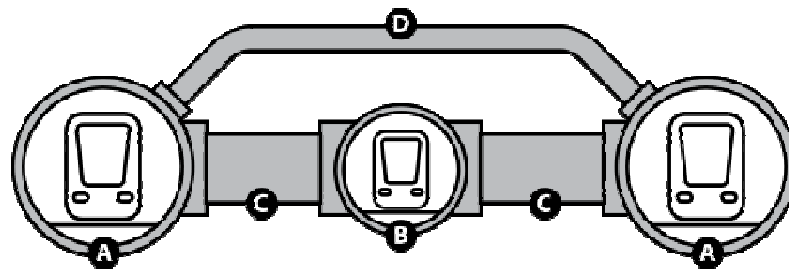


Les reconnaissances de tunnels profonds nécessitent des moyens atypiques et complexes

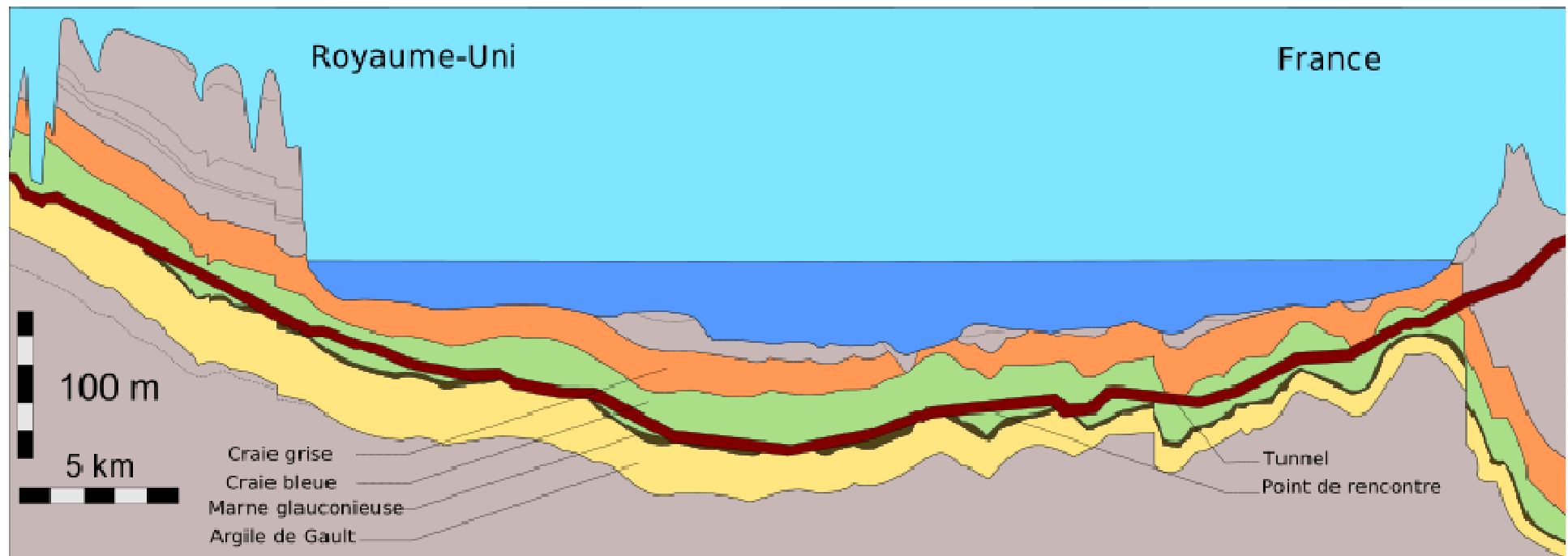
Tunnel du Mont Sion : reconnaissances



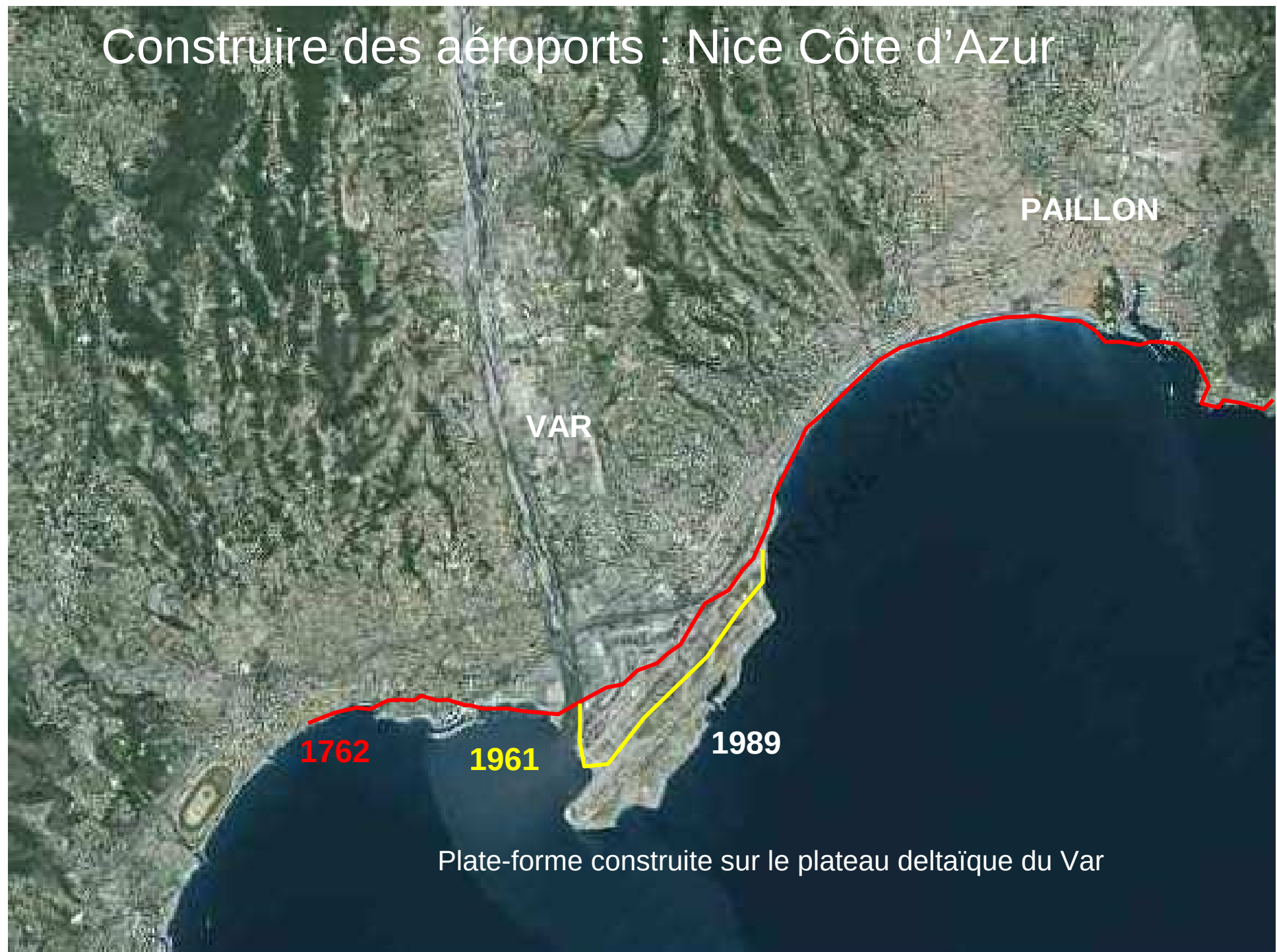
Tunnel sous la Manche

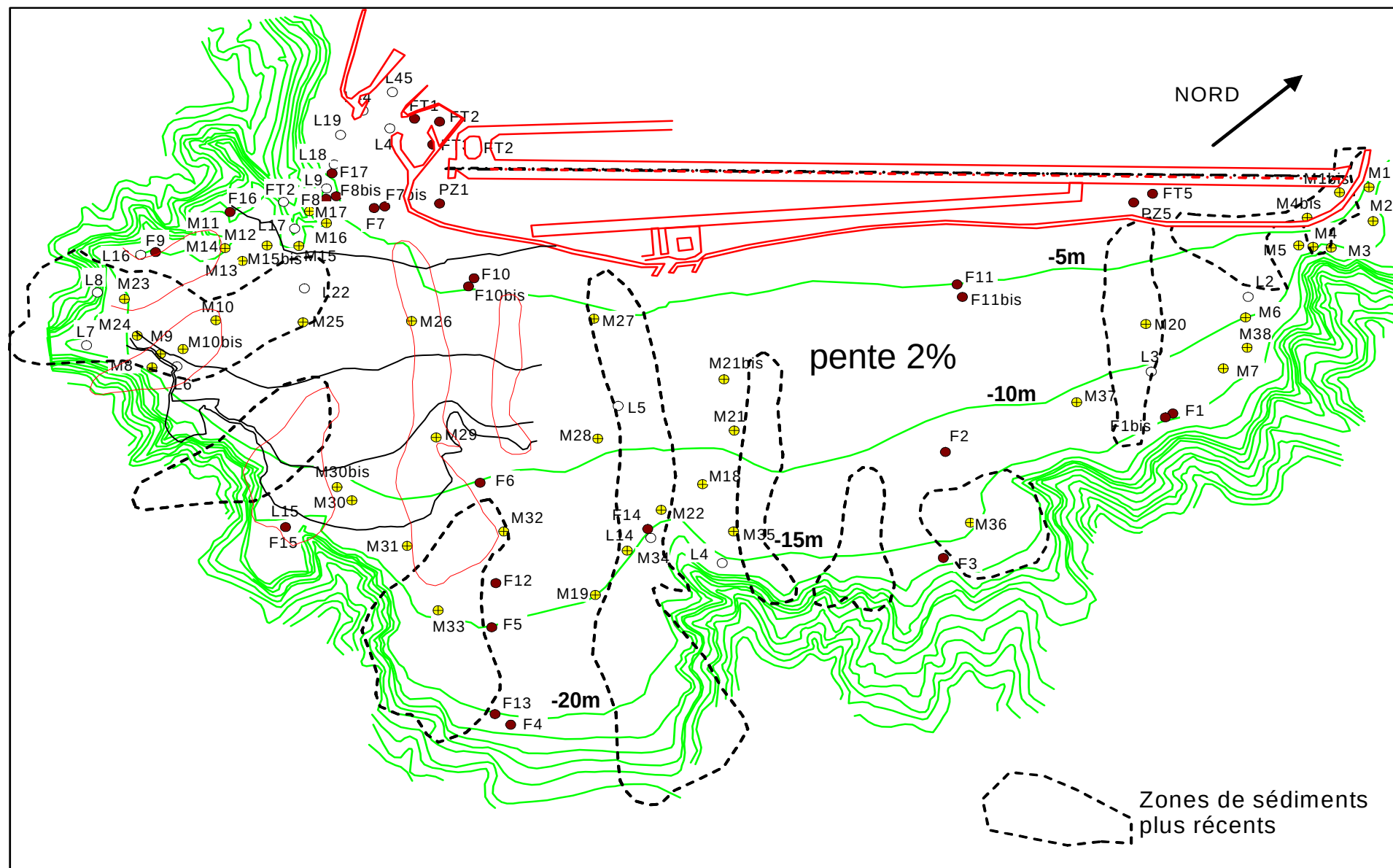
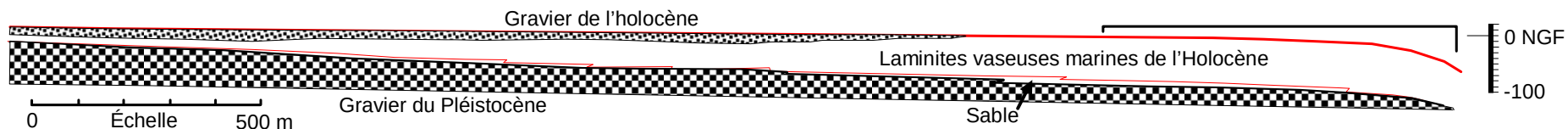


50,5 km de longueur, dont 37 km sous la mer (1987-1993)



Construire des aéroports : Nice Côte d'Azur





Construire des aéroports : Hong Kong - Chep Lap Kok



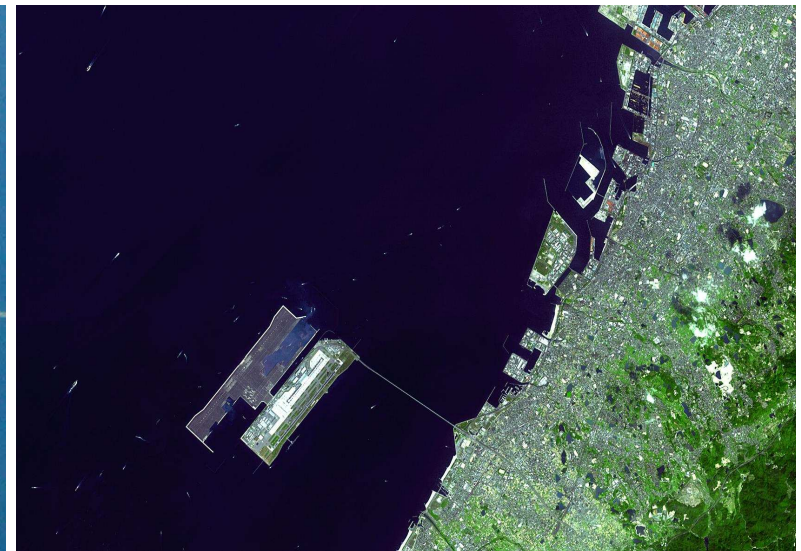
Avant : deux îles

Construire des aéroports : Hong Kong - Chep Lap Kok



Maintenant

Construire des aéroports : Kansai (Osaka-Kobe) airport



Première île : 3,5km x 1 km, 20 ans d'études, 3 ans de travaux plus aérogare.
Remblai de 30m à l'abri de digues en enrochements + tétrapodes. Tassement
8m (17cm/an en 2002).

A résisté en 1995 au tremblement de terre de Kobé (épicentre à 20km) et en
2001 à un typhon (vents de 200 km/h) sans dégâts.

Deuxième île : 4km/1km.

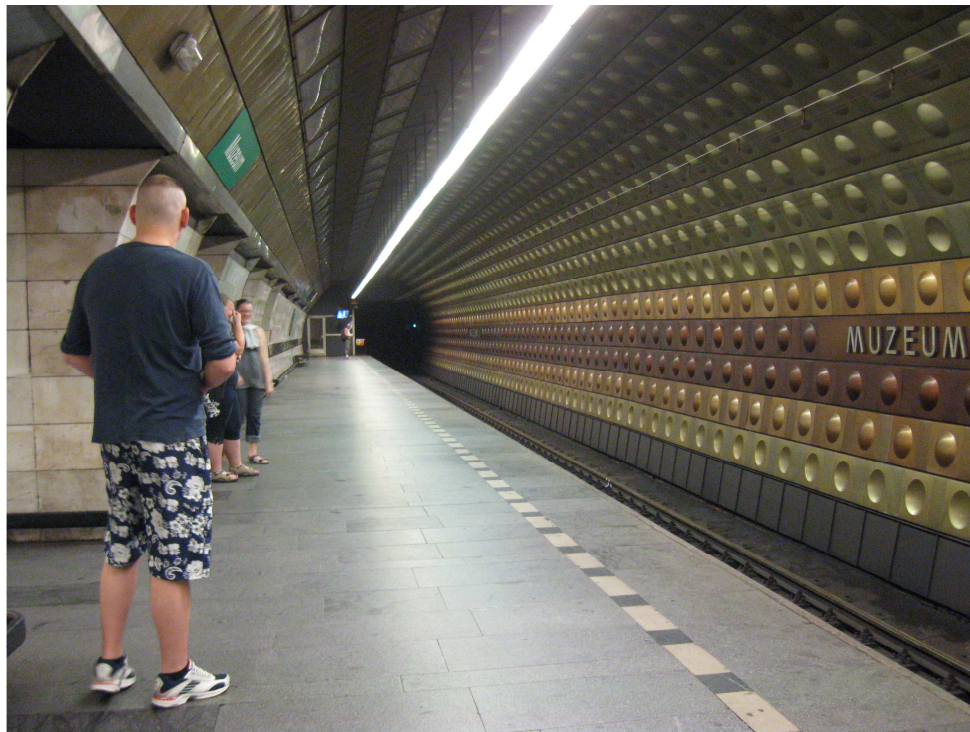
Construire des routes

- routes nouvelles,
- élargissements



... ou des voies ferrées

- voies nouvelles,
- voies anciennes,
- métro.



Construire des ponts

- ponts classiques,
- ponts innovants.



Construire des canaux

- canaux anciens,
- nouveaux projets,
- ouvrages extrêmes.



Construire des barrages

- en enrochements,
- voûtes en béton.



Stabiliser des pentes

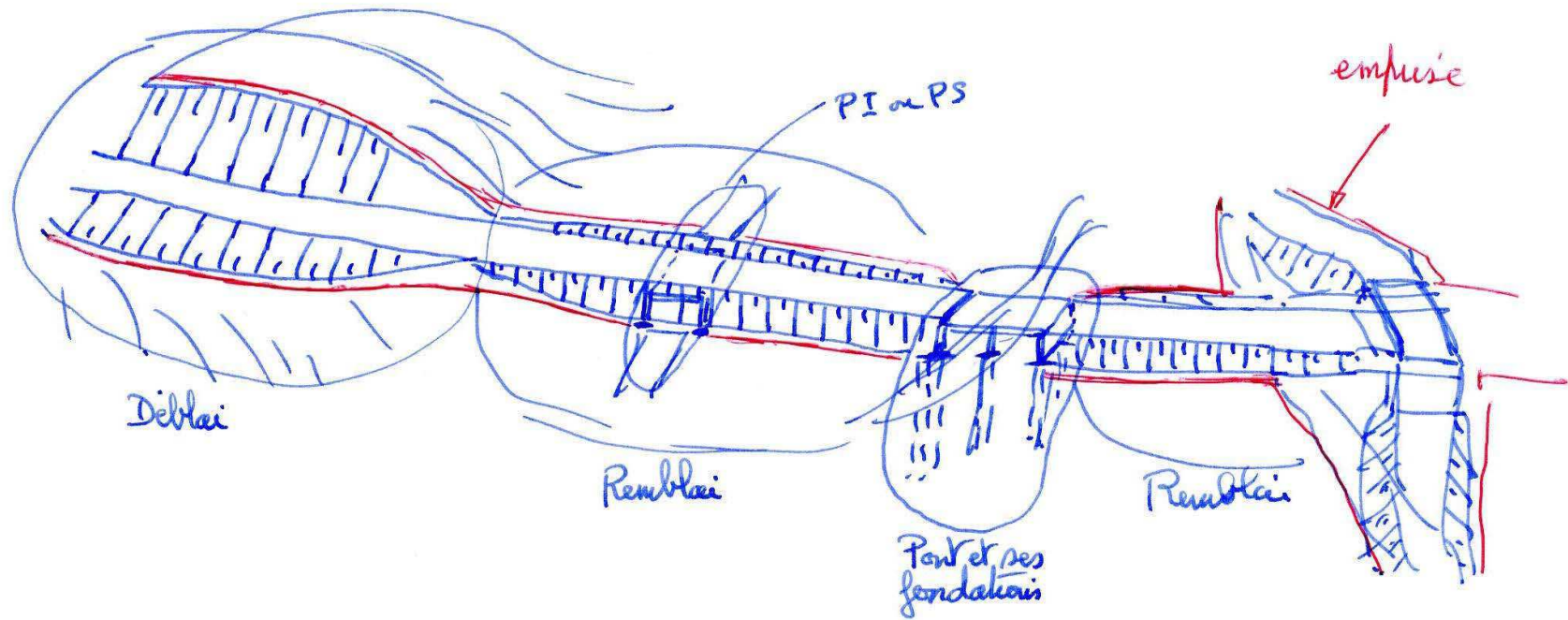
- glissements,
- protections côtières.



Il y a des outils et principes de reconnaissance,
mais pas de modèle ou de modèles...

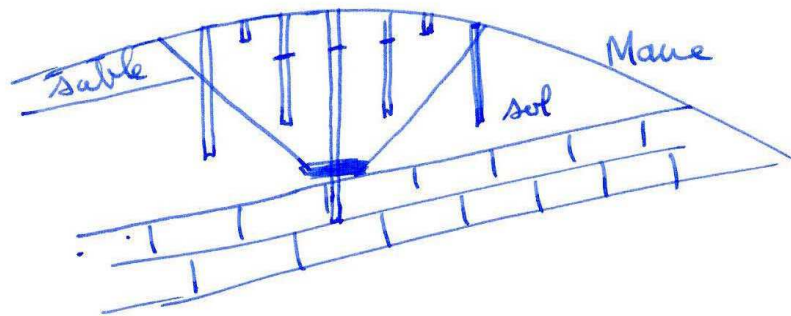
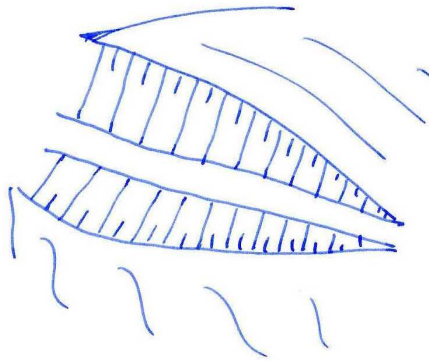
- Les outils sont connus : géologie, géophysique, sondages, essais en place, essais en laboratoire, essais d'eau et mesures de pressions. Ils sont de plus en plus normalisés.
- Les principes sont simples (mais pas toujours applicables) :
 - progressivité des études,
 - adaptation au terrain et à l'ouvrage (type et importance),
 - exploration de la zone d'influence géotechnique (mécanique et eau).
- Le choix de la stratégie et des moyens est de la responsabilité du « géotechnicien ». Il n'y a pas de modèle figé.

Pour organiser les reconnaissances géotechniques, il faut découper les projets en ouvrages...



Ne pas sous-estimer l'importance des terrassements, qui fournissent la plate-forme sur laquelle on va construire.

L'analyse se poursuit par ouvrage.



Exemple : un déblai

- fournit des matériaux de remblai à caractériser (pour prévoir le réemploi, le transport, le traitement, la mise en remblai, le compactage);
- crée des talus artificiels, dont il faut assurer la pérennité (stabilité même après évolution des matériaux, érosion, végétation) ;
- la reconnaissance doit fournir les informations nécessaires sur les matériaux excavés (pour remblai) et pour ce qui reste.

On peut aussi étudier l'effet environnemental du projet et des travaux : insertion dans le paysage, effet sur l'écosystème, consommation d'énergie, production de CO₂, etc...

La reconnaissance est adaptée au risque (aléa x valeur des dégâts en cas de sinistre)

Ce principe de réalisme conduit à ne pas faire d'études géotechniques précises pour les petits ouvrages (murs, petites excavations ou tranchées, maisons basses).

Quand la sécheresse s'attaque à de tels ouvrages, on comprend que les dégâts puissent être très importants.

Pour les grands projets, les moyens d'études sont beaucoup plus importants.

La géotechnique des grands projets

- Des enjeux financiers importants : besoin d'indications fiables au début donc besoins de compétences fortes.
- L'organisation des équipes est plus compliquée (coordination).
- Les études et projets sont souvent audités par des experts indépendants.
- Le prix de cette complication est souvent la durée.
- Mais les moyens et démarches sont les mêmes.

Les textes de référence sont...

- la norme « Eurocode 7 »,
- la norme française sur les missions,
- d'autres textes (recommandations, les normes des essais, de classification, ...).

Les règles de l'Eurocode 7 sur les reconnaissances géotechniques

- Section 2.4.3 Propriétés des terrains
 - Stratégie d'utilisation des résultats. Les valeurs de calcul ne sont pas nécessairement les résultats des essais
- Section 3 Données géotechniques
 - Définition des reconnaissances géotechniques,
 - Évaluation des paramètres géotechniques
 - Rapport de reconnaissance de terrain
 - Notion de reconnaissances préliminaires et de projet
- Partie 2. 1.1.1(1) : elle fournit des règles complémentaires à la partie 1 relatives à :
 - la planification et la consignation des résultats des reconnaissances
 - les exigences générales pour les essais courants (laboratoire/en place)
 - l'expression des résultats et l'évaluation des essais
 - la détermination des valeurs des coefficients et paramètres géotechniques

Eurocode 7 – Partie 2

- Article 2.1.1(1)P : Les reconnaissances géotechniques doivent être programmées de manière à disposer des informations et des données géotechniques appropriées aux différentes étapes du projet. Les informations géotechniques doivent être adaptées aux risques encourus et identifiés du projet. Pour les étapes de construction intermédiaires et finales, les informations et les données doivent être fournies pour prévenir les risques d'accidents, de retards et de dommages.
- Annexe B : programmation des reconnaissances géotechniques, choix des méthodes, exemples de recommandations pour l'espacement et la profondeur des reconnaissances géotechniques.

Eurocode 7 – Partie 2 (suite)

Annexe B

Reconnaisances préliminaires		Reconnaisances pour la conception du projet		Reconnaisances pour le calcul du projet	
Début Étude en bureau des cartes topographiqu es, géologiques et hydrogéologi ques. Interprétation des photos aériennes. Archives. Inspection du site	Sol fin CPT, SS, DP ou SPT Prélèvement (PS, TP, CS, OS), PMT, GW	Choix prélimi naire d'une métho de de fondati on	Fondations sur pieux SS, CPT, DP, SPT ou SR Prélèvement (PS, OS, CS), FVT, PMT, GWC (PIL)	Choix définitif d'une méthode de fondation Calcul	Fondations sur pieux PIL, essais de battage de pieux Mesurages des ondes mécaniques (sismiques) GWC, tassements Inclinomètres
			Fondations superficielles SS ou CPT, DP Prélèvement (PS, OS, CS, TP), FVT, DMT ou PMT, GW		Fondations superficielles Vérification du type de sol Vérification de la raideur (CPT) Tassements
	Sol grenu pulvérulent SS, CPT, DP ou SPT, SR Prélèvement (AS, OS, SPT, TP), PMT, DMT, GW	Choix prélimi naire d'une métho de de fondati on	Fondations sur pieux CPT, DP ou SPT Prélèvement (PS, OS, AS), FVT, DMT, GWO, (PIL)	Choix définitif d'une méthode de fondation Calcul	Fondations sur pieux PIL, essais de battage de pieux Mesurages des ondes mécaniques (sismiques) GWC, tassements Inclinomètres
			Fondations superficielles CPT+DP, SPT Prélèvement (PS, OS, AS, TP) Éventuellement PMT ou DMT, (PLT), GWO		Fondations superficielles Vérification du type de sol Vérification de la raideur (CPT) Tassements
	Roche Inspection du site Cartographie des discontinuités, SE. Dans les roches tendres ou recouvertes : (DP, CPT, SPT, SR ou CS)		Fondations sur pieux ou superficielles SR avec MWD, cartographie des fractures, avec TP, CS, RDT (PMT BJT dans les roches altérées) ; GWO	Choix définitif d'une méthode de fondation Calcul	Fondations sur pieux Vérification du contact entre la pointe du pieu et la surface rocheuse Vérification de la fissuration dans la surface rocheuse. Écoulements d'eau
					Fondations superficielles Vérification de l'inclinaison et de la fissuration dans la surface rocheuse
"à suivre"					

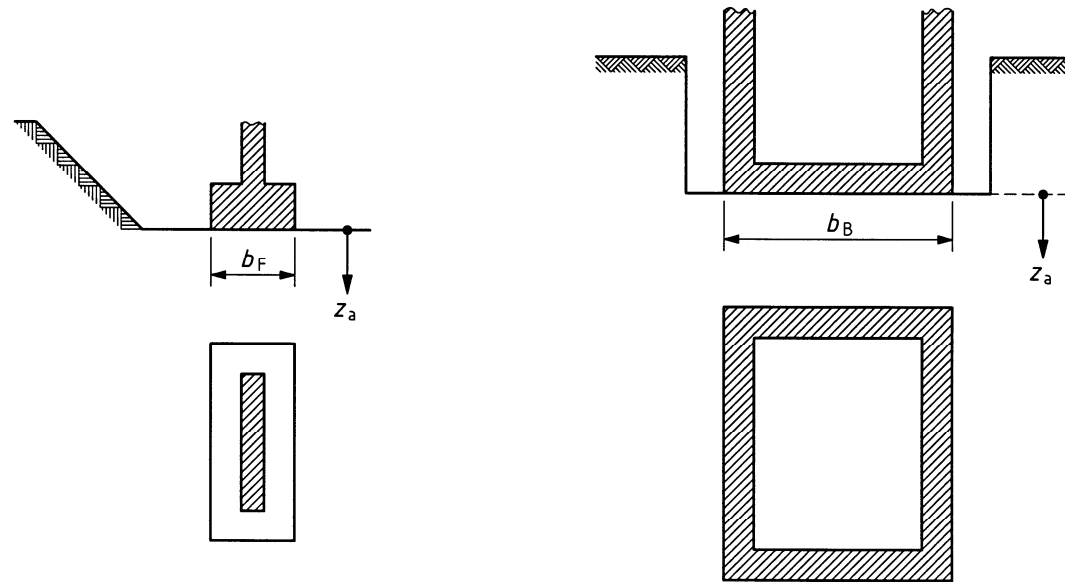
Eurocode 7 – Partie 2 (suite)

Espacement recommandé des sondages de reconnaissance :

- pour les **ouvrages industriels de grande hauteur**, un quadrillage de sondages espacés de 15 m à 40 m ;
- pour les **ouvrages de grande surface**, un quadrillage de sondages espacés de moins de 60 m ;
- pour les **ouvrages linéaires** (routes, voies ferrées, canaux, canalisations, digues, tunnels, murs de soutènement), des sondages espacés de 20 m à 200 m ;
- pour les **ouvrages spéciaux** (par exemple, ponts, cheminées, fondations de machines), deux à six sondages de reconnaissance par fondation ;
- pour les **barrages et déversoirs**, des sondages espacés de 25 m à 75 m, au droit des coupes pertinentes.

Eurocode 7 – Partie 2 (suite)

Fondations



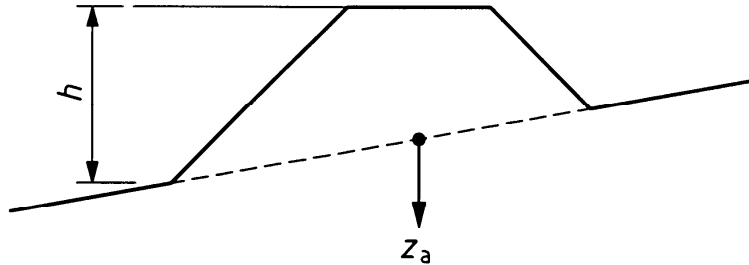
Profondeur de reconnaissance z_a sous la base de la fondation :

$$z_a = \text{maximum de } 6\text{m}, 3 B_f, 1,5 B_b$$

z_a peut être limité à 2m si le terrain est bon.

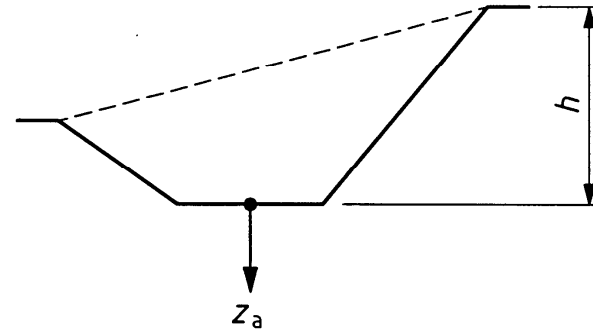
Mais il faut au moins un sondage à 5m si la géologie n'est pas précise.

Eurocode 7 – Partie 2 (suite)



Pour les remblais

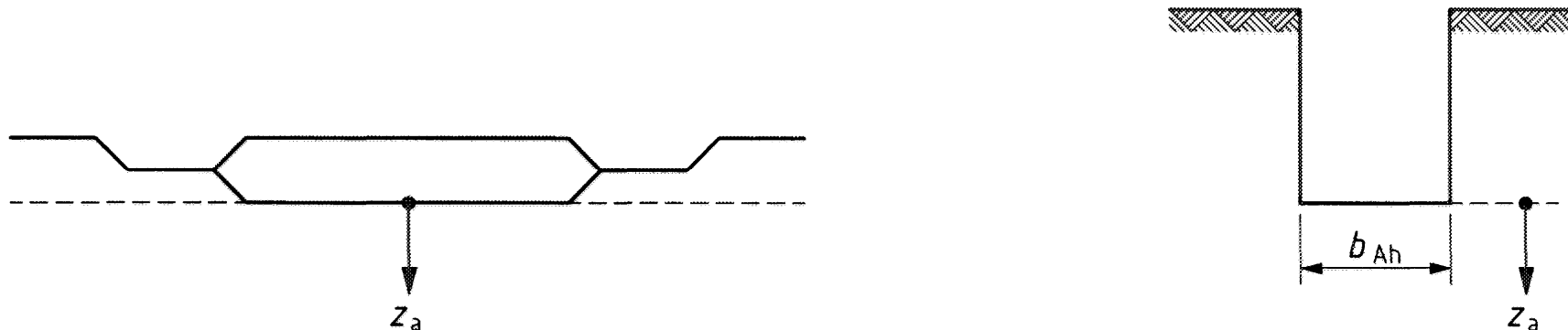
- $0,8 h < z_a < 1,2 h$
- $z_a \geq 6 \text{ m}$



Pour les déblais

- $z_a \geq 2,0 \text{ m}$
- $z_a \geq 0,4 \cdot h$

Eurocode 7 – Partie 2 (suite)



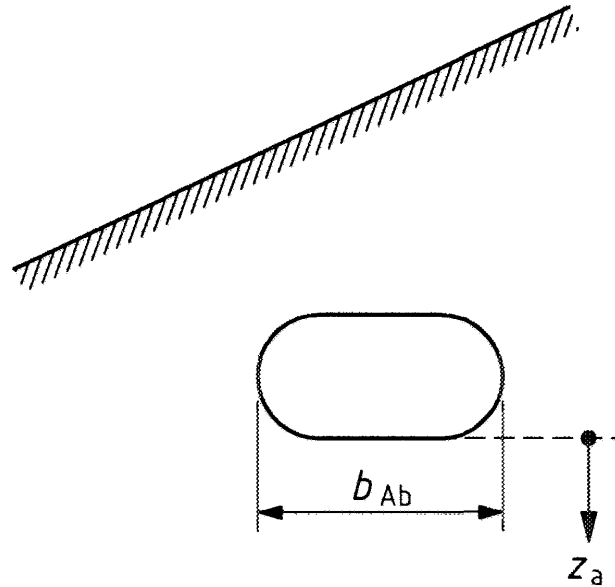
Pour les routes et les aérodrômes :

- $z_a \geq 2$ m sous le niveau d'assise prévue.

Pour les canaux et les canalisations, la plus grande des valeurs suivantes :

- $z_a \geq 2$ m sous le niveau du fond de l'excavation
- $z_a \geq 1,5 \cdot b_{Ah}$

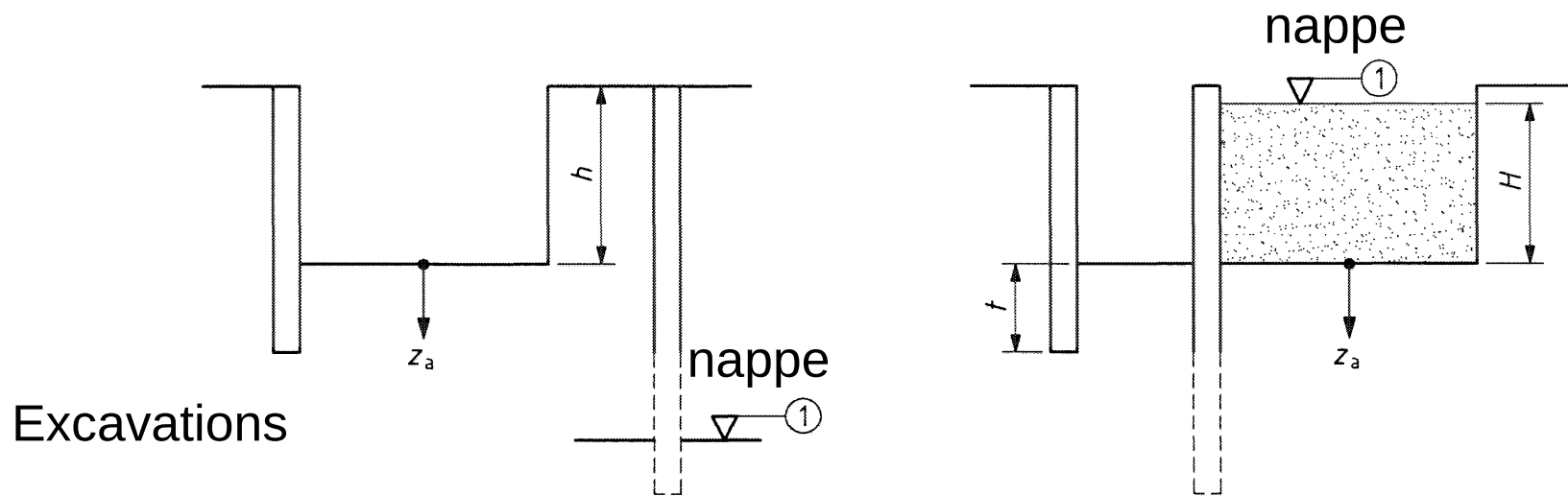
Eurocode 7 – Partie 2 (suite)



Pour les tunnels et excavations souterraines :

- $b_{Ah} < z_a < 2,0 b_{Ab}$.

Eurocode 7 – Partie 2 (suite)



Excavations

Niveau piézométrique et niveau de la nappe sous le fond de l'excavation, la plus grande des valeurs suivantes :

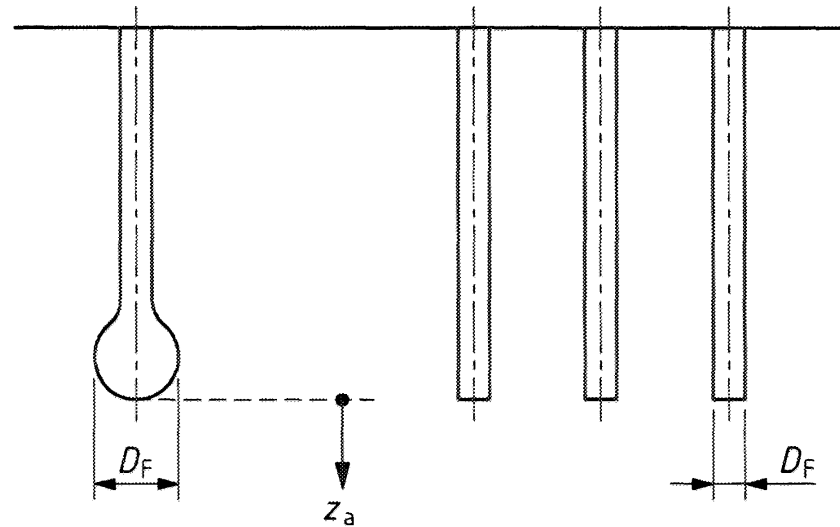
- $z_a \geq 0,4 \cdot h$
- $z_a \geq (t + 2,0) \text{ m}$.

Sinon : la plus grande des valeurs suivantes :

- $z_a \geq (1,0 \cdot H + 2,0) \text{ m}$
- $z_a \geq (t + 2,0) \text{ m}$

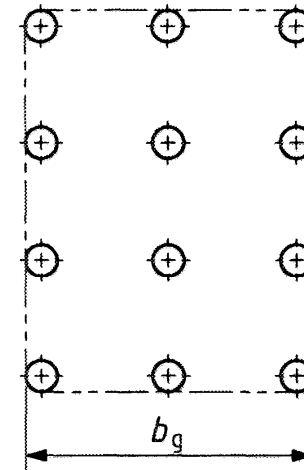
Eurocode 7 – Partie 2 (suite)

Fondations profondes



Le maximum de :

- $z_a \geq 1,0 b_g$
- $z_a \geq 5,0 \text{ m}$
- $z_a \geq 3 D_F$



NF P 94-500 Missions géotechniques

- La reconnaissance géotechnique comme partie d'une mission d'étude géotechnique. Les prestataires sont des sous-traitants.
- L'enchaînement des missions :
 - **Étape 1 (études préalables) :**
 - étude géotechnique préliminaire de site (G11)
 - étude géotechnique préliminaire d'avant-projet (G12)
 - **Étape 2 (mise au point du projet)**
 - étude géotechnique de projet (G2)
 - **Étape 3 (exécution des ouvrages géotechniques)**
 - supervision géotechnique d'exécution (G4) pour le maître d'ouvrage
 - étude et suivi géotechnique d'exécution (G3) pour l'entreprise
- À tout moment :
 - diagnostic géotechnique (G5)

Annexe A pour les ouvrages et bâtiments simples.

Conclusion

