



# Cours UCTR Exploitation du 14 octobre 2022 à Villars

## Ouvrages de génie civil

G. Briguet, Ing. Civil dipl. EPFL

# Ouvrages de génie civil

- Quelques idées reçues pour débiter...
  - A quoi ça sert tout ça?
  - Il n'y avait pas à faire comme ça!
  - C'est du béton, c'est solide!
  - Ça tient aujourd'hui, ça tiendra toujours!
  - Un drainage, c'est juste pour rendre le sol moins humide!
  - En cas de tempête annoncée, je rentre les véhicules uniquement pour qu'ils soient abrités et protégés!
  - Ça coûte extrêmement cher et on ne voit presque rien.
  - Les ingénieurs prennent des marges énormes dans leurs calculs, ça tient un éléphant!

# Plan de la présentation

- Généralités
  - Rôle des ouvrages de GC
  - Sollicitations
  - Un projet, des contraintes
  - Les matériaux (béton et acier)
  - Conception
  - Dimensionnement
  - Réalisation
- Exemples d'application sur le TSD8 Lac Noir - Chaux Ronde
  - Contraintes générales du projet
  - Gare aval
  - Ligne (P2, P3, P9)
  - Gare amont
- Exemples divers

# Généralités – Rôle des ouvrages GC

Firmitas, Utilitas, Venustas

Solidité, utilité, beauté

Vitruve «*De Architectura*», env. 30 av. J.-C.

Mais également  
durable et  
économique.



Parfois mis de côté  
dans les projets de  
RM... à tort?

# Généralités – Sollicitations

- Permanentes
  - Poids propre, poids des terres
- Variables
  - Poids des éléments mobiles, câbles et véhicules, câble de commande
  - Charges utiles dans les bâtiments, quais, plateformes,...
- Variables, dues à l'environnement
  - Vent: EE, HE, véhicules en ligne? ←
  - Neige: à partir de quand déneiger?
  - Givre: augmente le poids mais également la prise au vent
  - Reptation de la neige
  - Variations de température

Savez-vous si vos installations sont dimensionnées pour permettre de laisser les véhicules en ligne en tous temps...?

# Généralités – Sollicitations

- Accidentelles : tout est fait pour les éviter mais leur survenance ne peut pas être exclue!
  - Déraillement du câble
  - Rupture câble de sécurité
  - Défaillance d'un vérin de tension, surcharge système de tension hydraulique
  - Séisme
  - Avalanche
  - Tassement différentiel de fondations

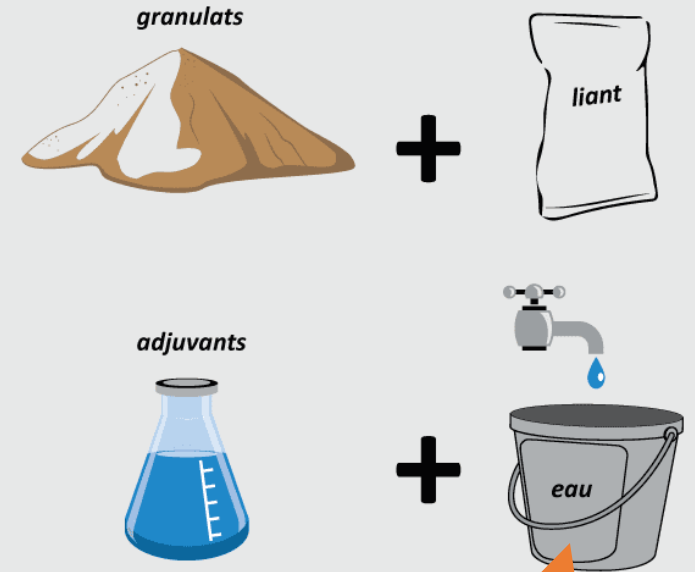
# Généralités – Un projet, des contraintes

- Une société de RM veut construire un nouveau télésiège...
  - Le choix du tracé et du type d'installation dépend de plusieurs contraintes, parfois contradictoires:
    - Souhaits techniques de la société de RM
    - Exigences légales (Lica, aménagement du territoire et urbanisme)
    - Exigences environnementales (Droit de recours des associations environnementales)
    - Faisabilité technique
    - Financières
    - Politiques

# Généralités – Les matériaux, le béton

- Recette pour 1 m<sup>3</sup> de béton:

- Sable et graviers < 32 mm (env. 1'800 kg)
- Ciment (env. 350 kg)
- Eau (env. 160 kg)
- Adjuvants divers (fluidifiants, retardateurs de prise,...)

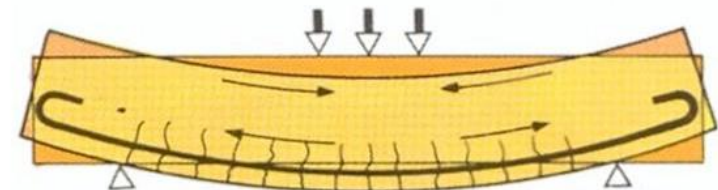
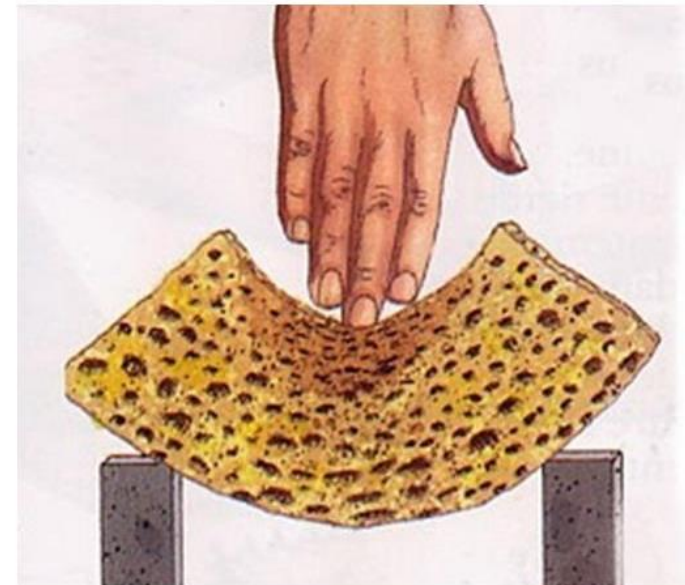


- Lors du malaxage, l'eau entre en contact avec le ciment et une réaction chimique à lieu qui fait durcir le mélange eau / ciment et emprisonne le sable et les granulats dans cette matrice.
- On obtient un matériau très résistant à la compression.
- Lors du chantier, des échantillons sont prélevés à chaque bétonnage pour s'assurer de la bonne qualité du béton réalisé.

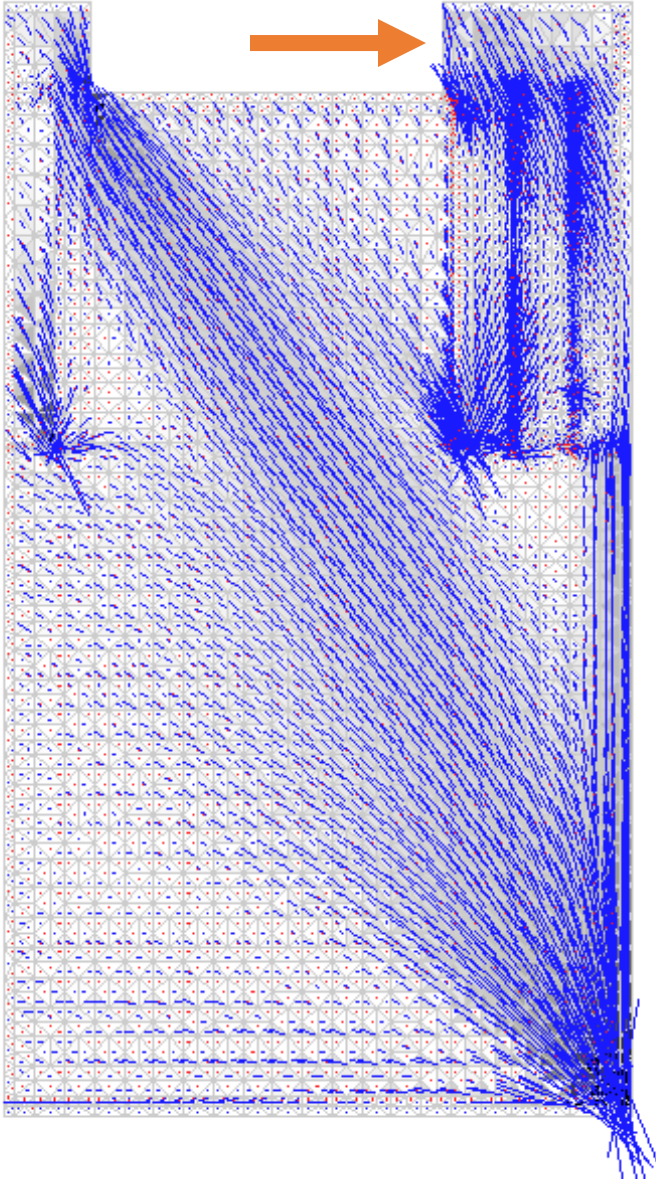
Cet ingrédient empêche les bétonnages par températures négatives !

# Généralités – Les matériaux, le béton armé

- Le béton résiste très bien à des efforts de compression mais très mal à de la traction.
- L'acier résiste très bien aux 2 sollicitations mais est onéreux et sujet à la corrosion
- L'alliance du béton et de l'acier crée le béton armé. L'acier permet de reprendre les forces de traction et il est protégé de la corrosion par le béton.

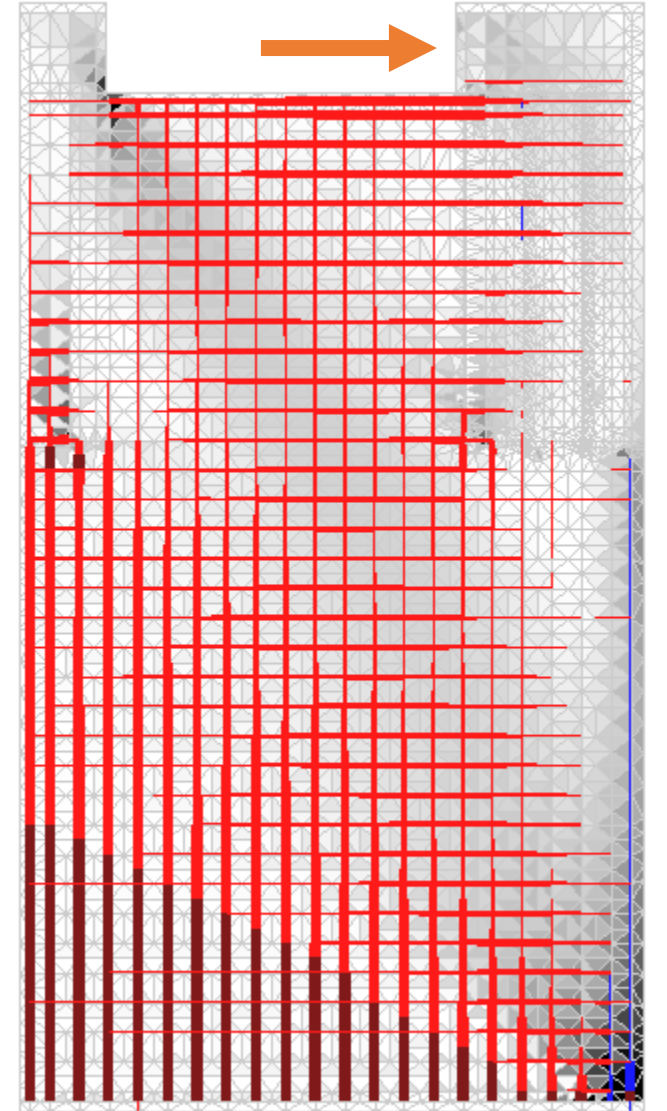


# Généralités – Les matériaux, le béton armé



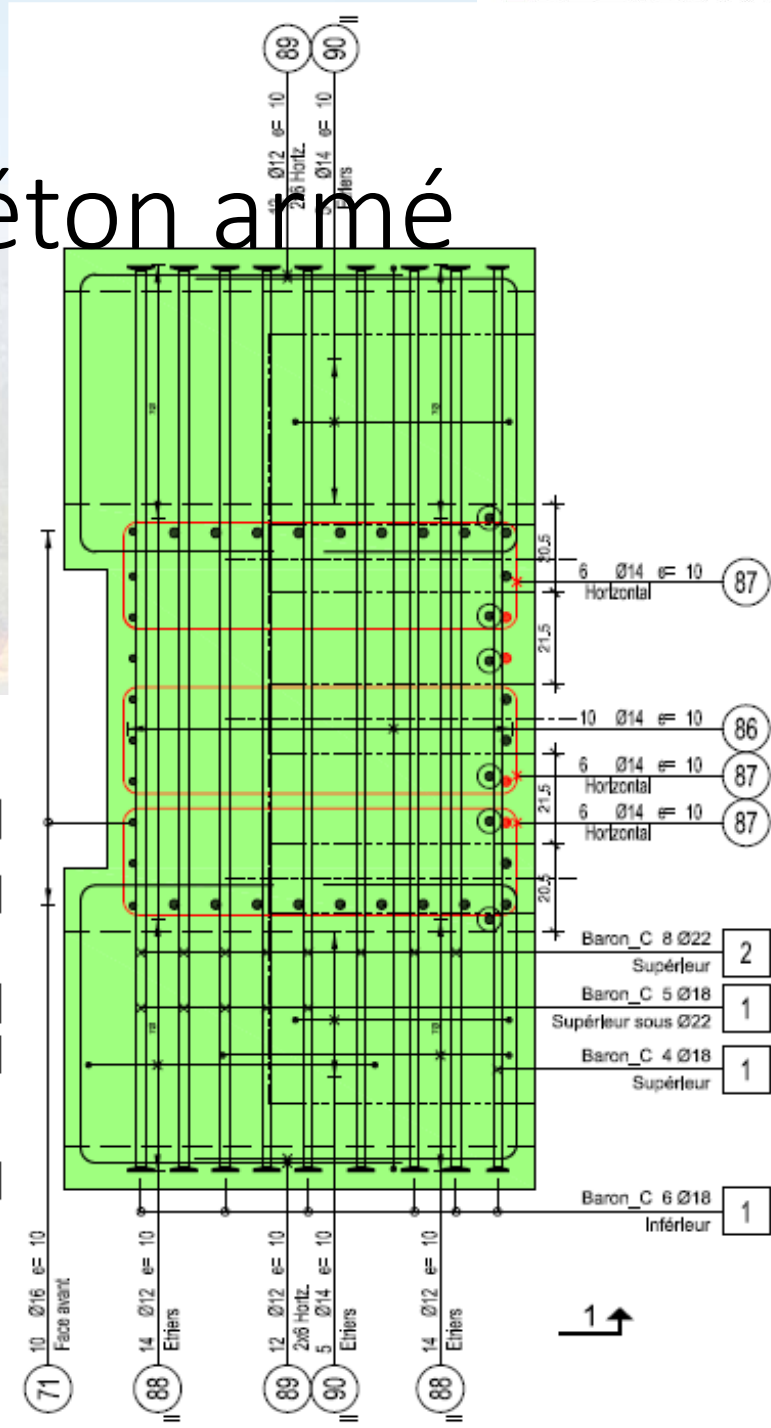
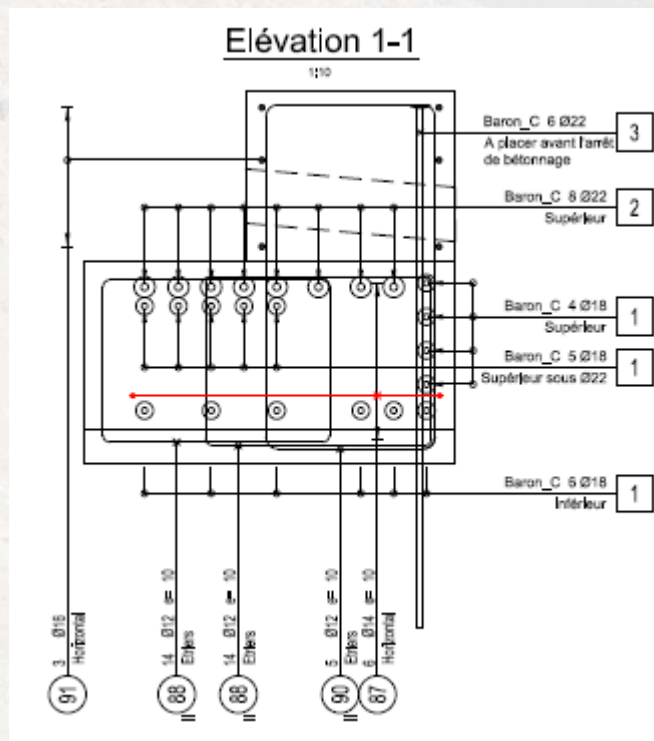
- Les calculs permettent de déterminer les sections exactes d'armature, mais une réflexion «logique» permet de connaître l'emplacement de l'armature principale. Exemple avec un pilier arrière d'un télésiège:

- Le béton armé est par nature un matériau **hétérogène** et **fissuré!**



# Généralités – Les matériaux, le béton armé

- L'acier d'armature existe en différents diamètres (de 8 à 40 mm) et est façonné en usine selon un plan spécifique.
- Sa disposition lors du chantier doit suivre scrupuleusement le plan établi par l'ingénieur.



# Généralités – Les matériaux, le béton armé

- Pathologies du béton armé:
  - Fissuration: Attention, les fissures ont des origines très diverses, certaines sont normales et attendues, d'autres sont les signes avant-coureurs d'une rupture!
  - Corrosion de l'acier d'armature
  - Réaction alcali-granulats
  - Eclats locaux de béton
  - Efflorescences calcaire



# Généralités – Conception des ouvrages GC

- Base nécessaire:
  - Tracé et implantation initiale des pylônes
  - Analyse géologique, avalanche et environnementale
  - Convention d'utilisation
  - Visite sur site
- Résultats:
  - Faisabilité générale du projet
  - Type de fondation (profondes, superficielles,...)
  - Eléments de protection particuliers?
  - Planning de chantier (réalisation sur 1 an, 2 ans,...?)
  - Estimation sommaire des coûts

# Généralités – Conception des ouvrages GC

- La convention d'utilisation:
  - Permet de clarifier l'utilisation des ouvrages prévus:
    - L'ingénieur effectue le dimensionnement en considérant les bonnes charges utiles et besoins du Maître d'Ouvrage.
    - Le Maître d'Ouvrage définit et connaît les capacités et limites de ses ouvrages

## 2.2 Convention d'utilisation

Tiré de Norme SIA 260

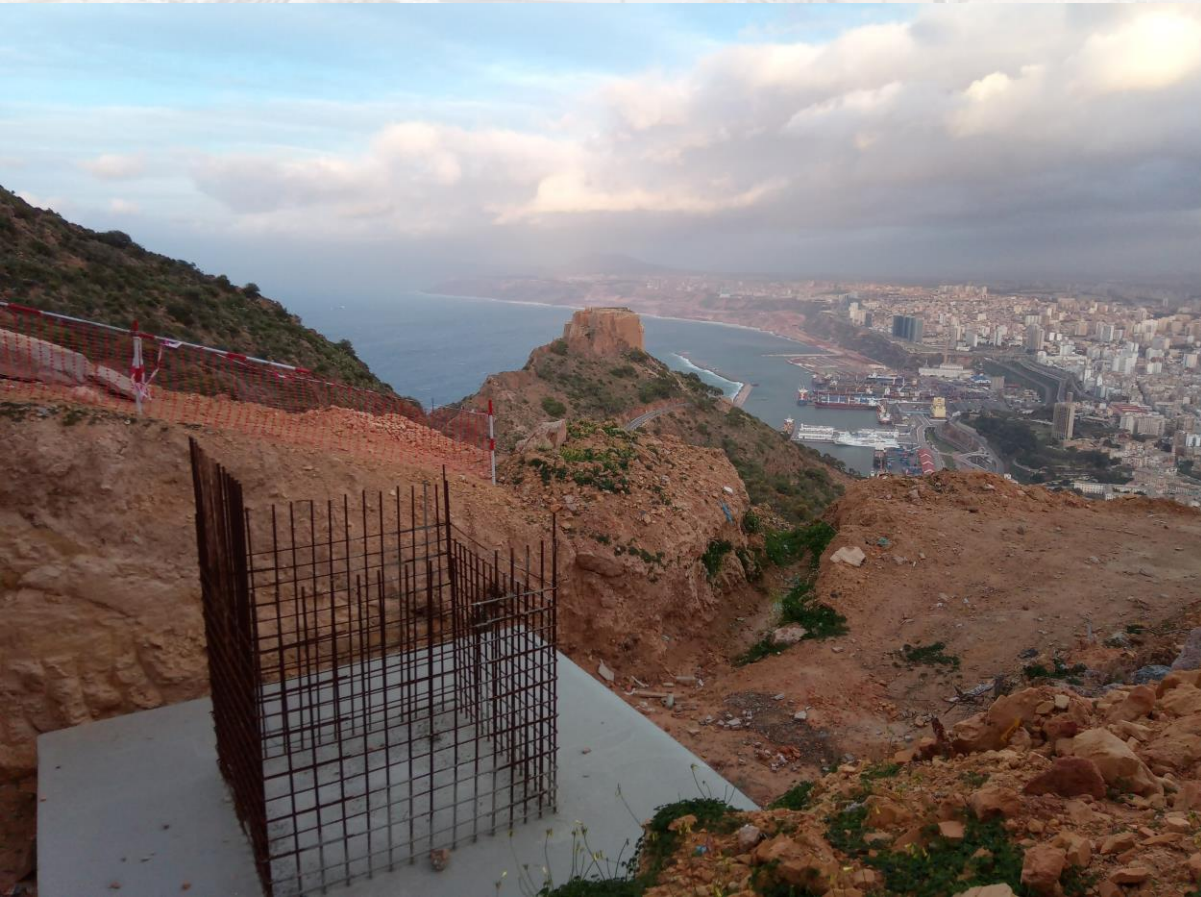
2.2.1 La convention d'utilisation est établie sur la base d'un dialogue entre le maître de l'ouvrage et les projeteurs.

2.2.2 La convention d'utilisation décrit:

- les buts généraux de l'utilisation de l'ouvrage (états d'utilisation et durée d'utilisation)
- le milieu et les exigences de tiers
- les besoins de l'exploitation et de la maintenance
- les objectifs particuliers du maître de l'ouvrage
- les objectifs de protection et les risques particuliers
- des dispositions tirées des normes.

# Généralités – Conception des ouvrages GC

- Lorsque le bon sol est proche de la surface, on utilise des fondations dites «superficielles»  
→ TCD8 Oran, Algérie



# Généralités – Conception des ouvrages GC

- Lorsque le bon sol est trop profond, on utilise des fondations dites «profondes»
  - TCD10 Diablerets, micropieux 250 mm, L = 14 à 20 m, foreuse < 20 t, env. 15 m/jour
  - Bâtiment à Villeneuve: pieux 400 mm, L = 10 à 12 m, foreuse > 100 t, env. 100 m/jour



# Généralités – Dimensionnement

- Base nécessaire:
  - Base de projet
  - Normes
  - Plans d'avant-projet
- Résultats:
  - Dimensions exactes des éléments
  - Plans d'exécution

# Généralités – Dimensionnement: normes

- Principales normes utilisées:
  - Normes EU avec préface suisse:
    - SN EN 12929 Installations à câble, dispositions générales
    - SN EN 13107 Installations à câble, ouvrages de génie civil

**s i a**

SIA 261:2020 Construction

**SN** Schweizer Norm  
Norme Suisse  
Norma Svizzera

**505 261**

Remplace SIA 261:2014

- Normes SIA (Société Suisse des Ingénieurs et Architectes):
  - SIA 260 Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses
  - SIA 261 Actions sur les structures porteuses
  - SIA 262 Construction en béton
  - SIA 263 Construction en acier
  - SIA 267 Géotechnique
  - ...

Einwirkungen auf Tragwerke  
Azioni sulle strutture portanti  
Actions on structures

**Actions sur les structures porteuses**

# Généralités – Dimensionnement

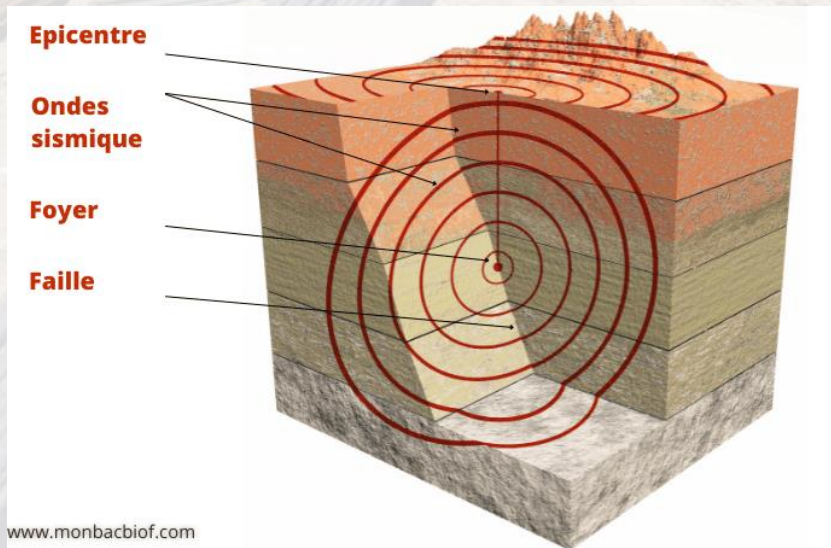
- Comment vérifier si la résistance d'un élément est suffisante?

*Résistance > Sollicitation*

- Les facteurs de sécurité permettent d'avoir une marge de sécurité par rapport aux actions et de tenir compte de la variabilité des performances des matériaux.

# Généralités - Dimensionnement

- Facteurs de combinaison: quelle est la probabilité d'avoir un séisme important en même temps qu'une tempête de vent extrême?  
→ On ne peut pas dimensionner une installation pour une **simultanéité d'événements extrêmes**, mais il peut y avoir du vent lorsqu'un séisme survient.



# Généralités – Réalisation

- Les parties électro-mécaniques sont en général bien définies et standardisées → Peu de «surprises» possibles en phase de chantier
  - Les ouvrages de génie civil sont:
    - Des prototypes uniques
    - Réalisés par des personnes différentes
    - En contact avec le sol, par nature hétérogène et peu connu
    - Réalisation fortement dépendante de la météo
- Nombreux «aléas» possibles en phase de chantier nécessitant parfois des solutions alternatives rapides!

TSD8 – Lac Noir  
- Chaux Ronde



**TÉLÉ**  
**VILLARS-GRYON**  
**DIABLERETS SA**

# TSD8 – Contraintes générales du projet

- Télésiège vital pour le domaine de Villars-Gryon-Les Diablerets
- TSD 4 existant à démonté (et non à démolir)
- Zone de protection des eaux S2
- Présence du Tétras Lyre
- Fréquentation importante de la route d'accès par les touristes
- Présence de la zone de forêt < 10 m (dérogation nécessaire)
- Câbles enterrés 16'000 volts passant au travers de la gare aval
- Opposition «de principe» de la part de Pro Natura

# TSD8 – Contraintes générales du projet

- L'entier du TSD est situé en zone S2 de protection des eaux

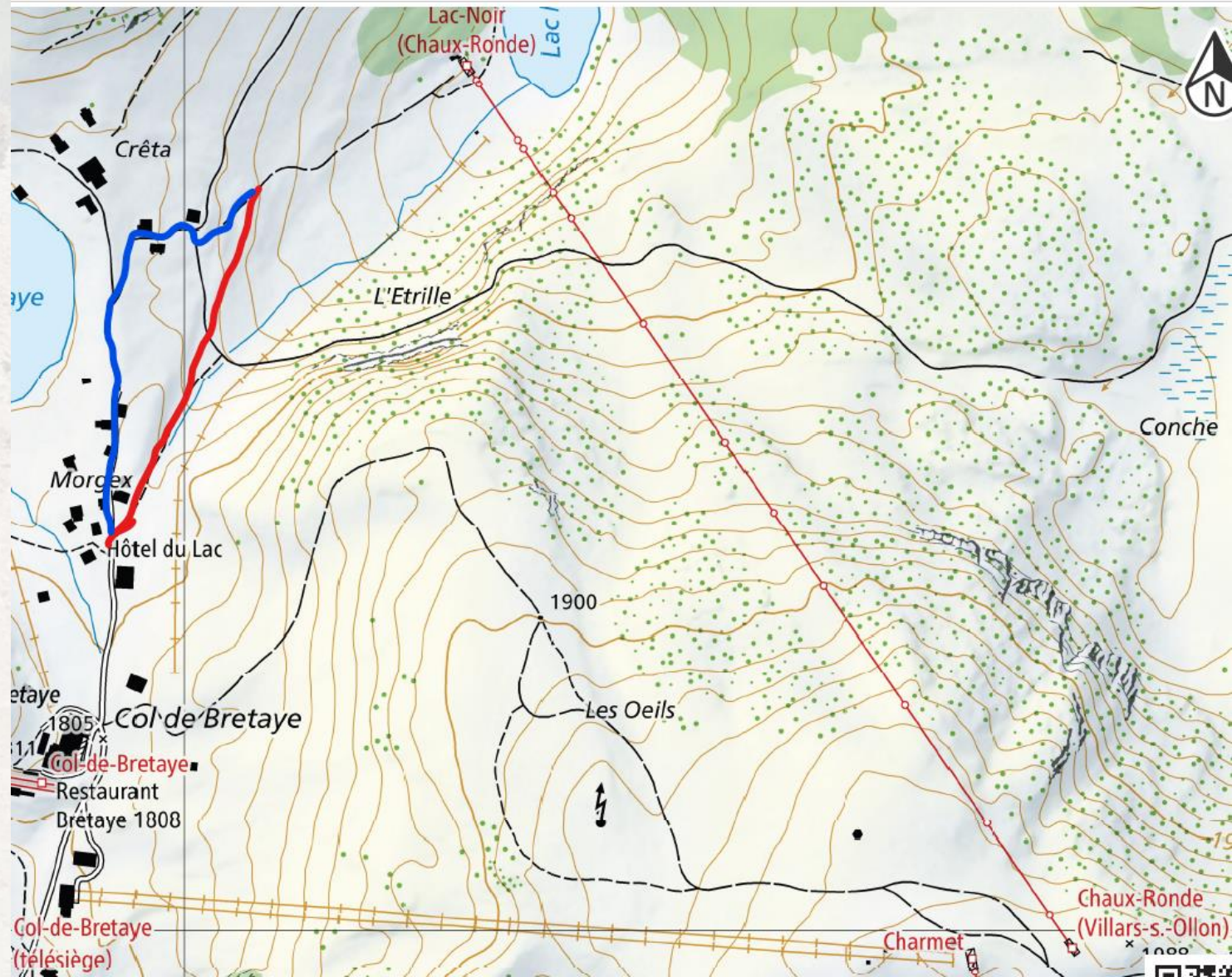
Type de secteur	Temps de transfert dans les eaux	Mesures de précaution, restrictions
Zone S2 Zone de protection rapprochée	< 10 jours	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aucune construction nouvelle</li> <li>■ Aucun épandage d'engrais de ferme liquide, de boues d'épuration ou de produits phytosanitaires, sauf exception</li> </ul>

Construction possible uniquement parce qu'il y avait un TS existant!

Des exigences importantes ont été imposées pour le chantier (par le canton et la confédération)! → Env. 90 points lors de la phase d'approbation des plans!

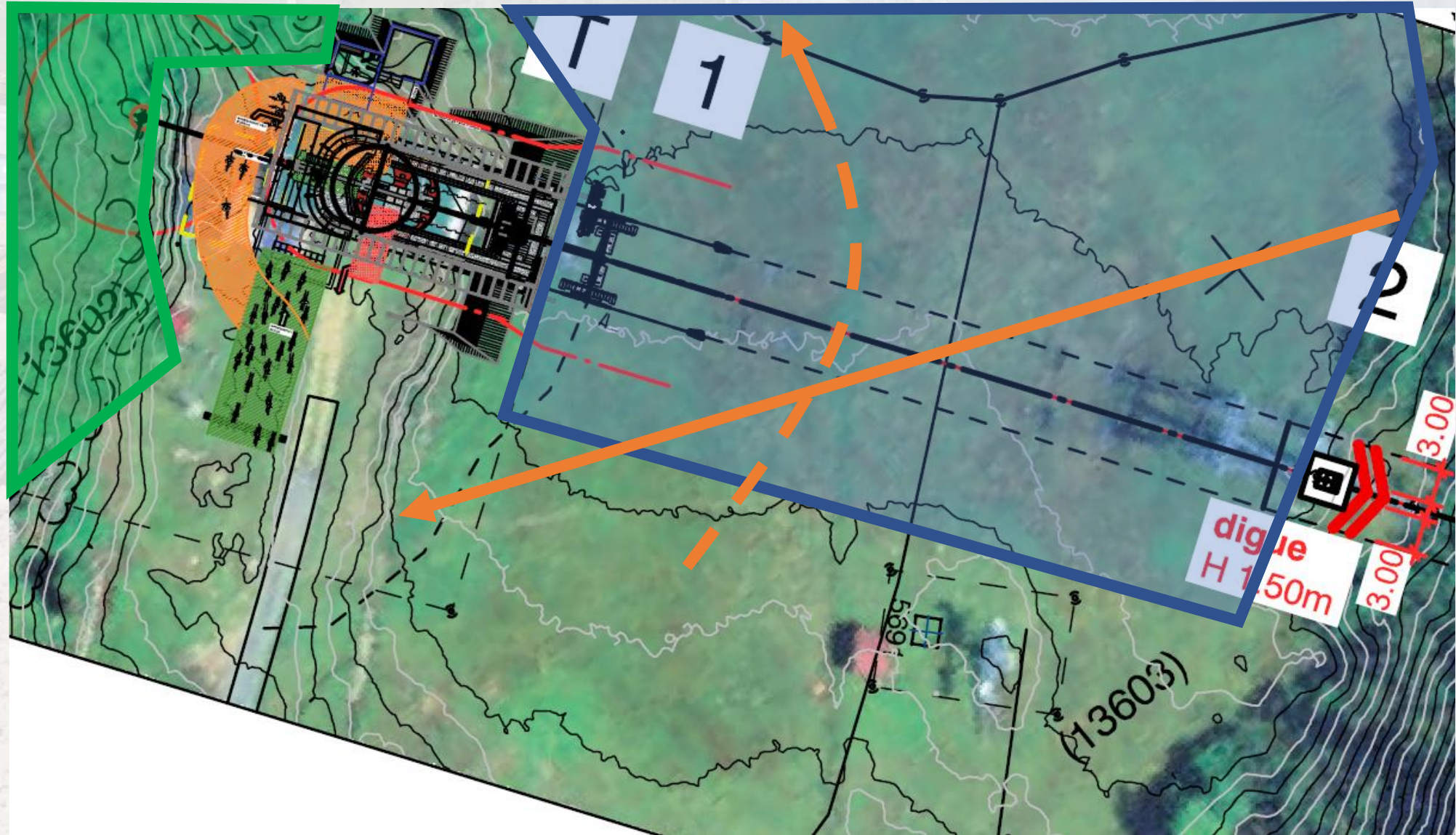
# TSD8 – Gare aval, situation et accès

- Piste de chantier utilisée lors de la construction du TSD 4, idéale pour flux de chantier et sécurité riverains et touristes
- Route existante passant dans le hameau et empruntée par de nombreux touristes avec enfants et poussettes
- Refus des autorités pour aménager la piste temporaire en rouge!



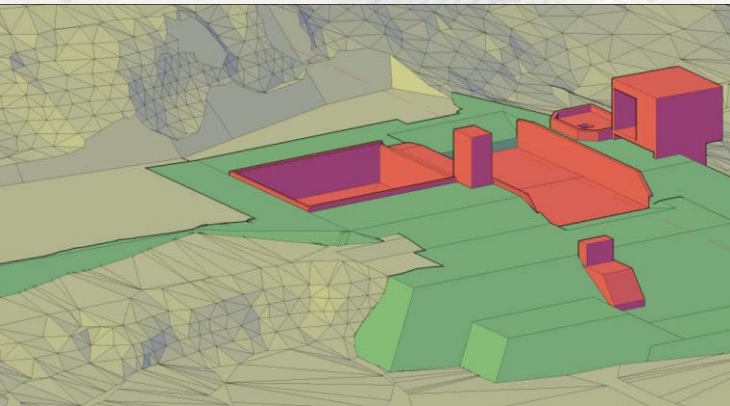
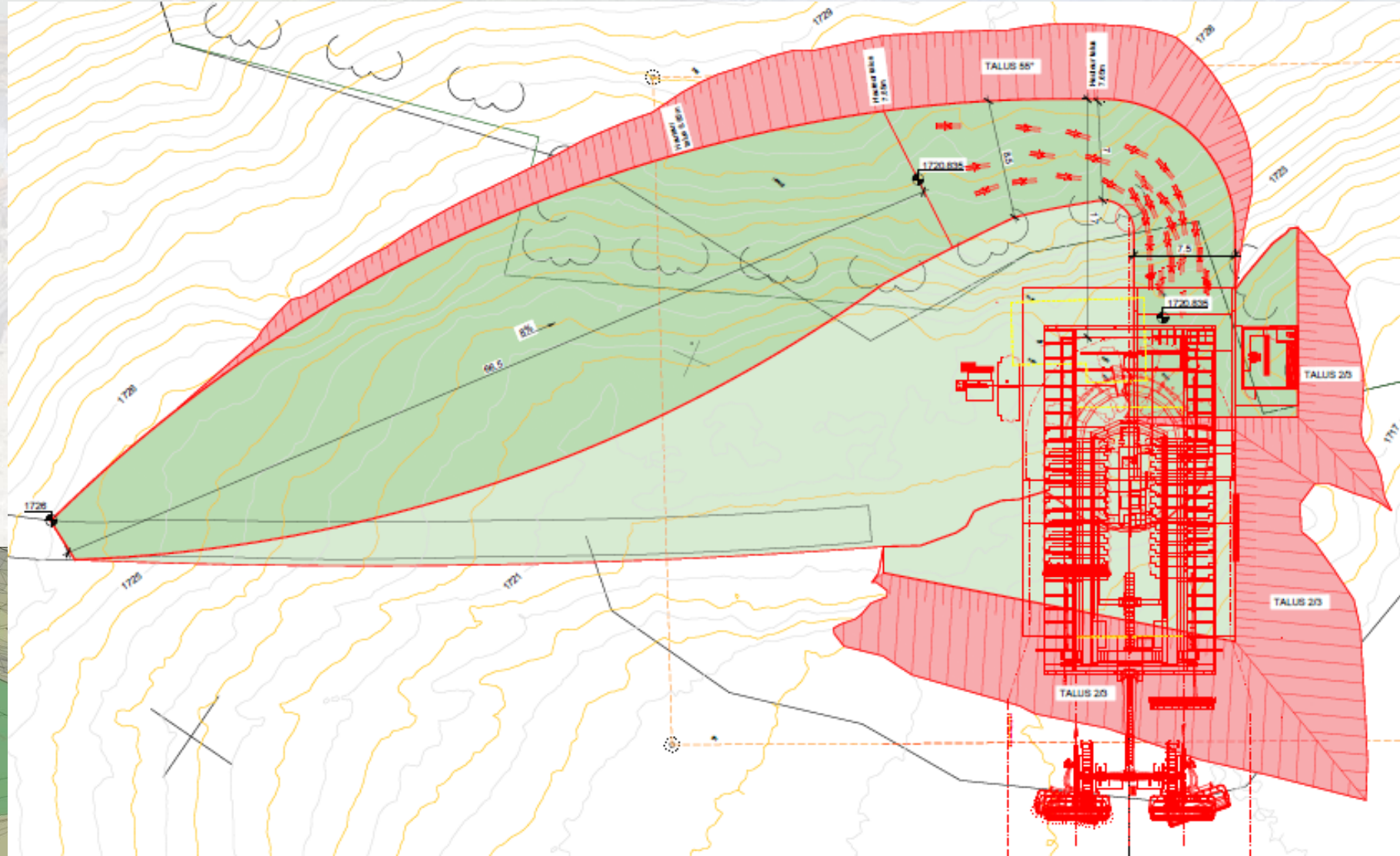
# TSD8 – Gare aval – Contraintes et variantes

- Zone forêt
- Zone marais
- Flux skieurs
- Niveau d'embarquement?
- Décablage P1?
- Embarquement été / hiver / vélos?



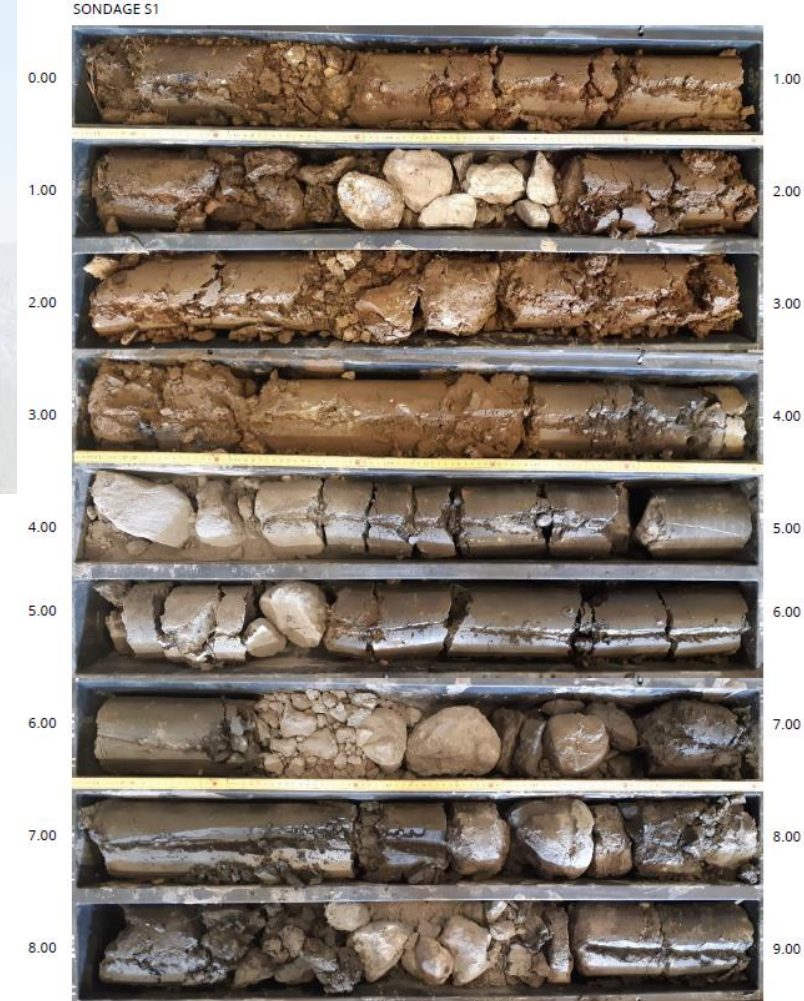
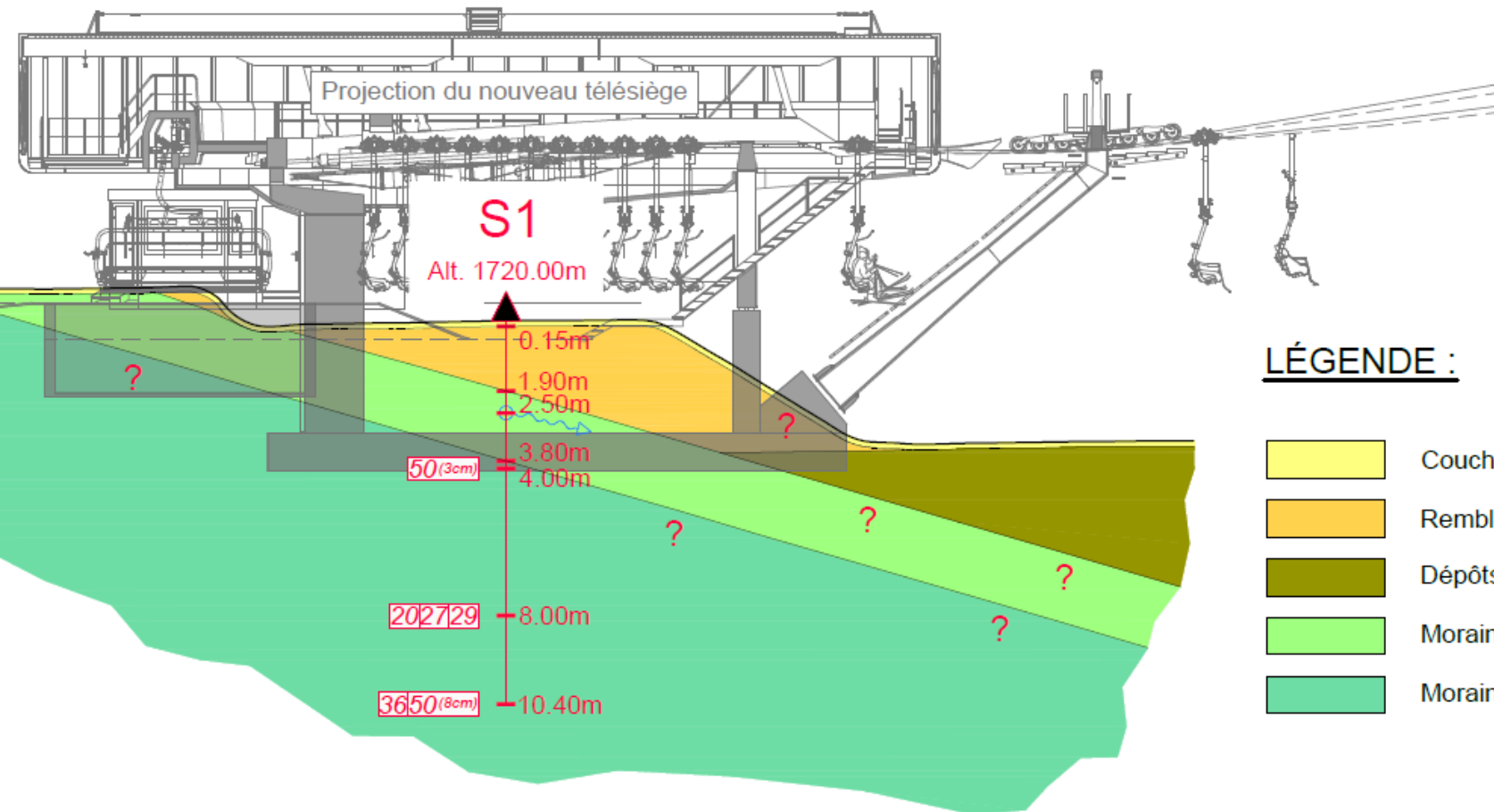
# TSD8 – Gare aval – Contraintes et variantes

- 2 constructeurs proposent des variantes différentes...
- Analyse coût-efficacité-faisabilité



# TSD8 – Gare aval – Sondage géologique

- Quel type de fondation choisir?

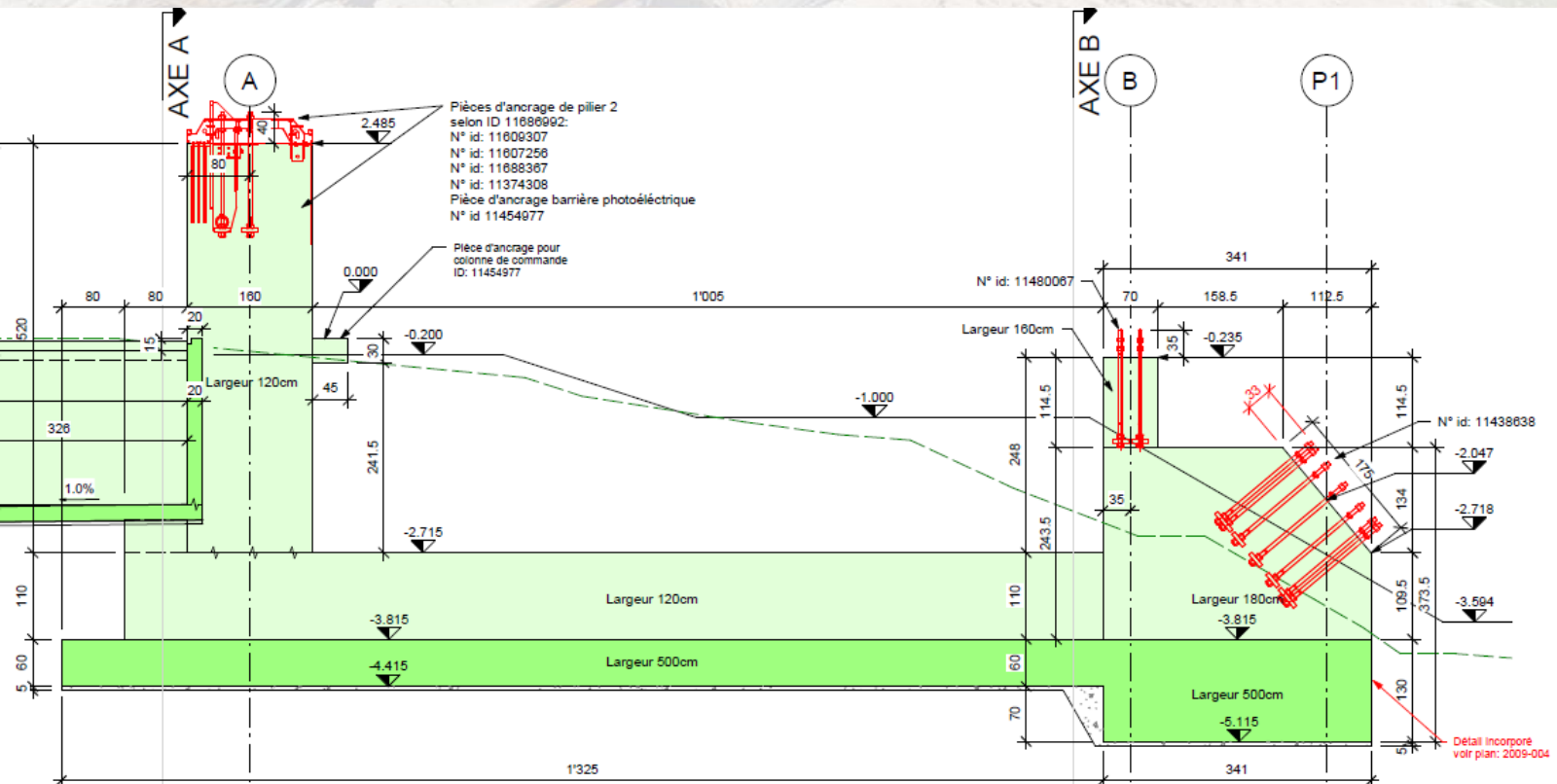


## LÉGENDE :

- Couche de sol horizon "A"
- Remblais
- Dépôts palustres
- Moraine altérée moyennement compacte à compacte
- Moraine très compacte

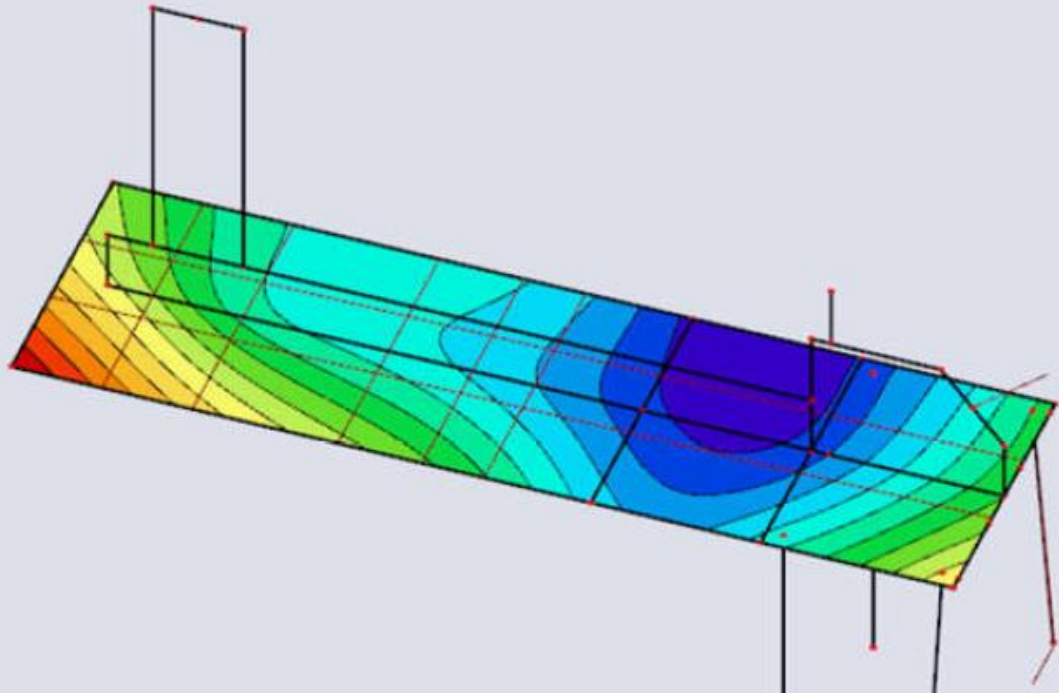
# TSD8 – Gare aval - Micropieux

- Analyse des possibilités de fondations
- Calcul à l'avance de variantes en fonction du terrain rencontré
- Décision sur site des paramètres retenus



# TSD8 – Gare aval - Micropieux

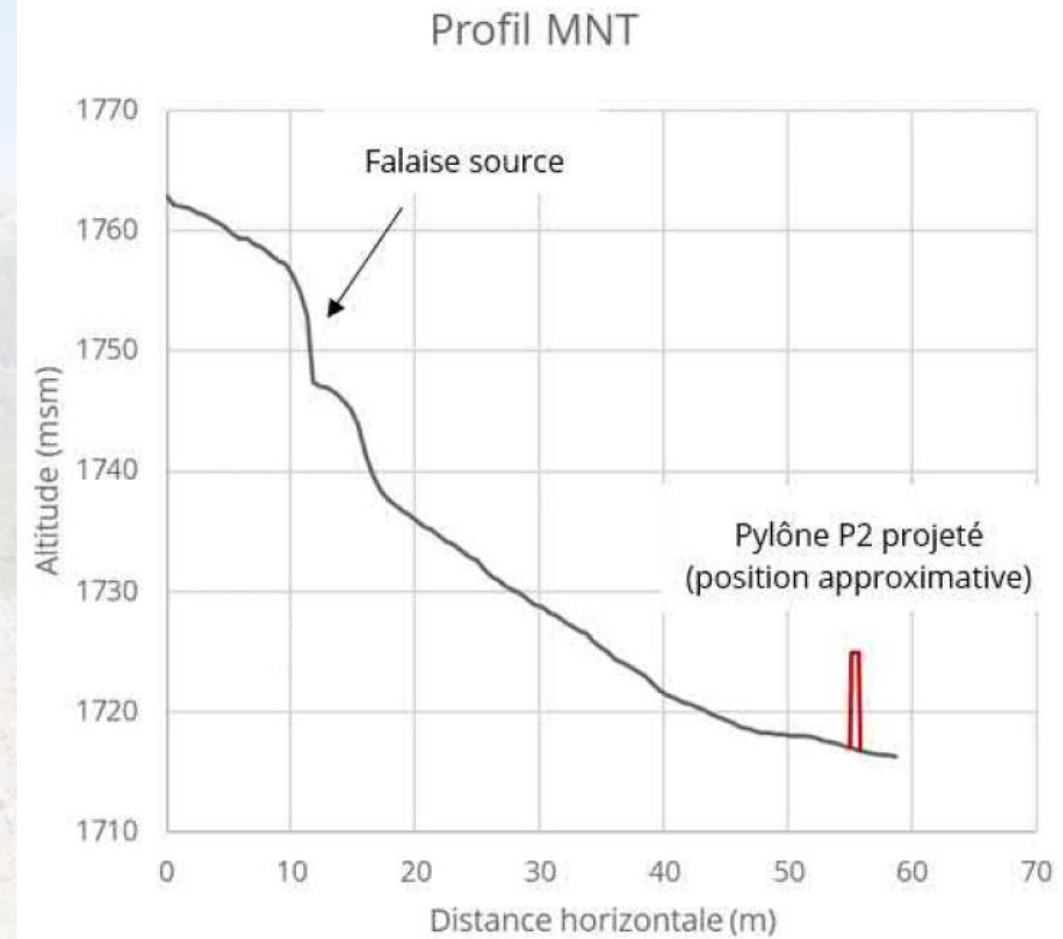
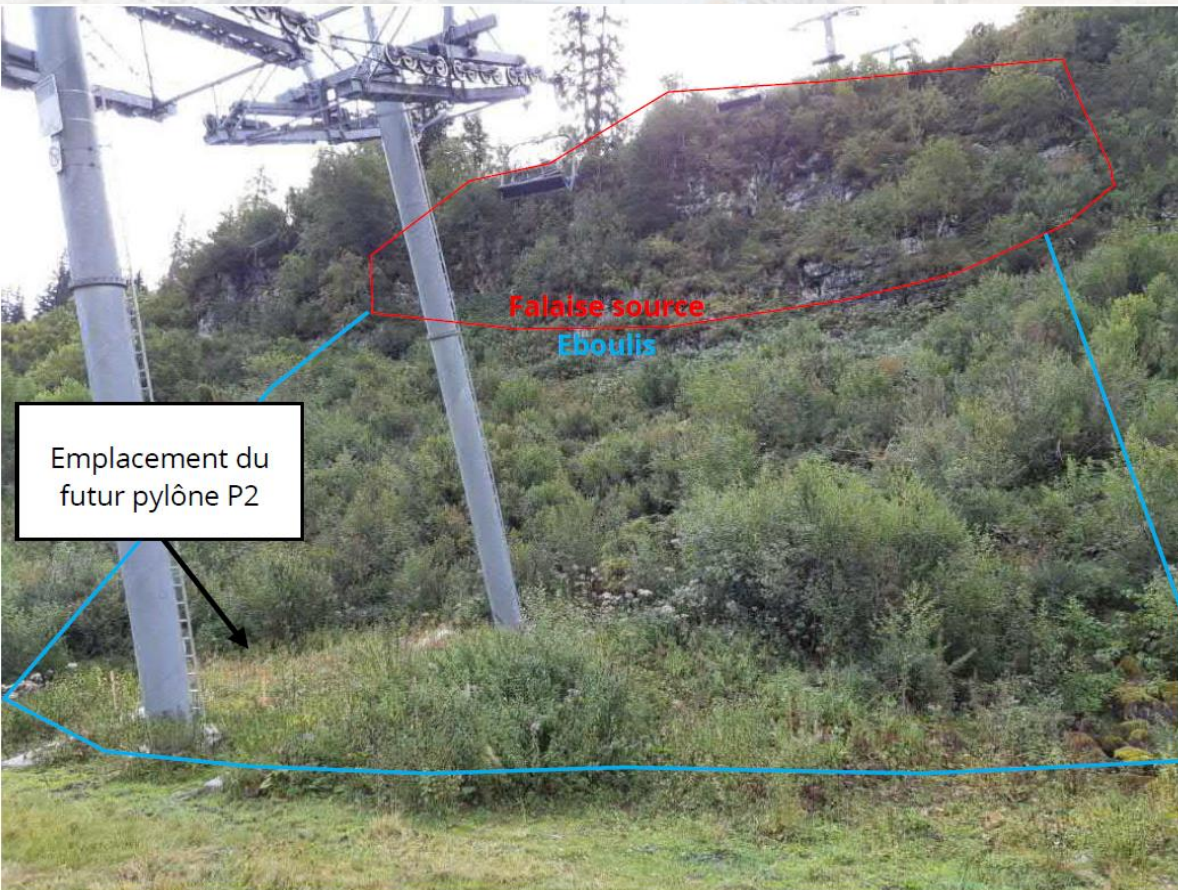
- Analyse des contraintes et déformation de la semelle de fondation
- Décision: 4 micropieux, longueur 12 m, diamètre de forage 220 mm, ROR 139.7\*10, acier N80





# TSD8 – P2

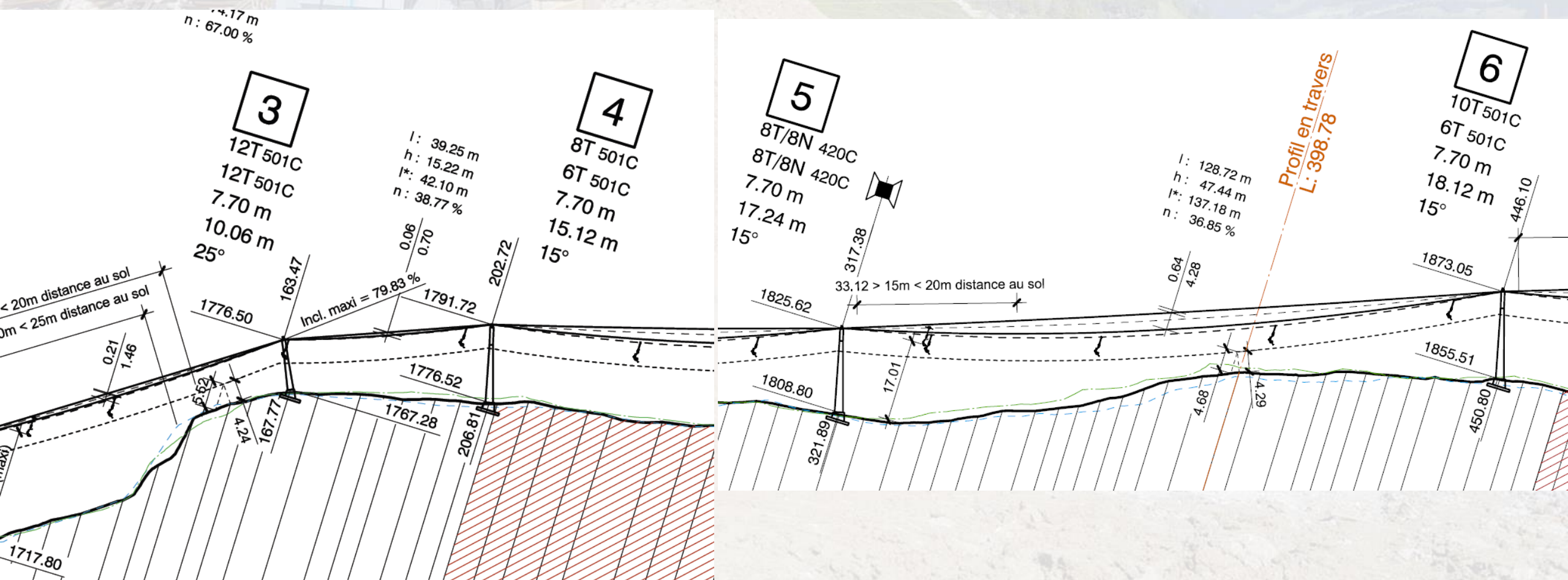
- Danger de chutes de pierres sur le P2
    - Elevé selon les cartes de danger et le géologue
    - Le risque ne s'est pas réalisé pour l'ancien TSD4
- Que faire?



- Réduction du risque vs coût des mesures?
  - Petite digue de protection:
    - Coût faible (< 10 kCHF)
    - Risque réduit quasiment à zéro
- Efficacité importante de la mesure!

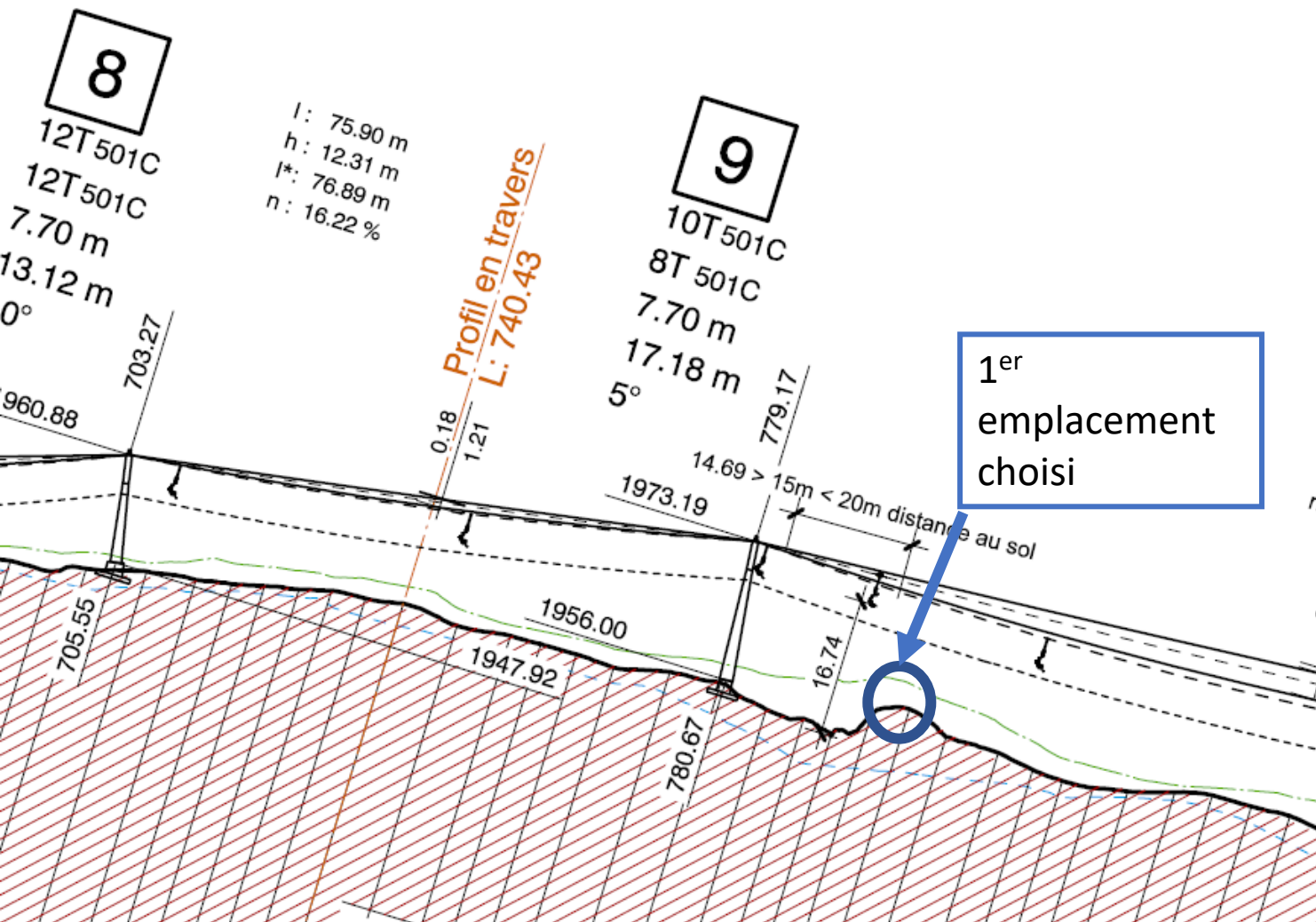
# TSD8 – P3 et ligne

- Distance au sol parfois faibles. Nécessité de corrections de terrain locales



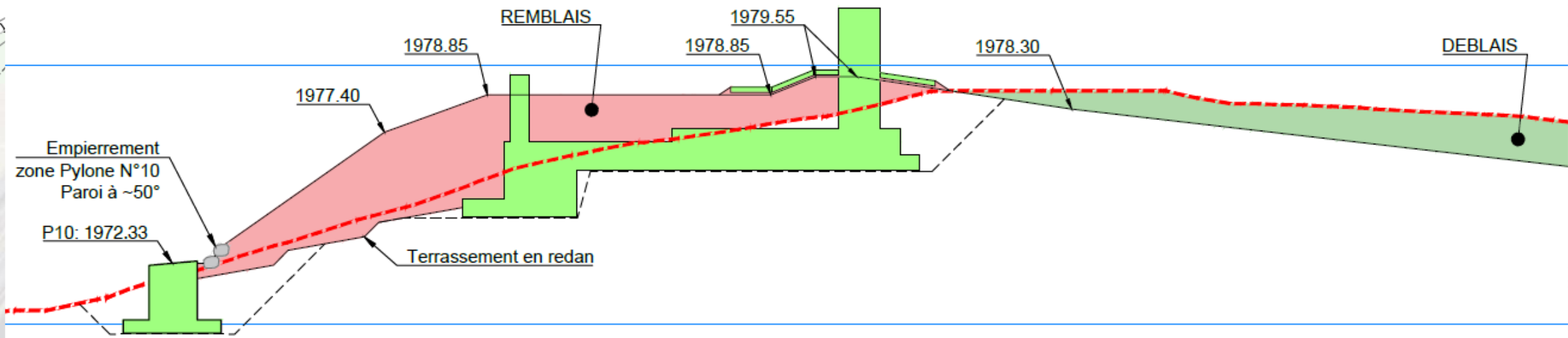
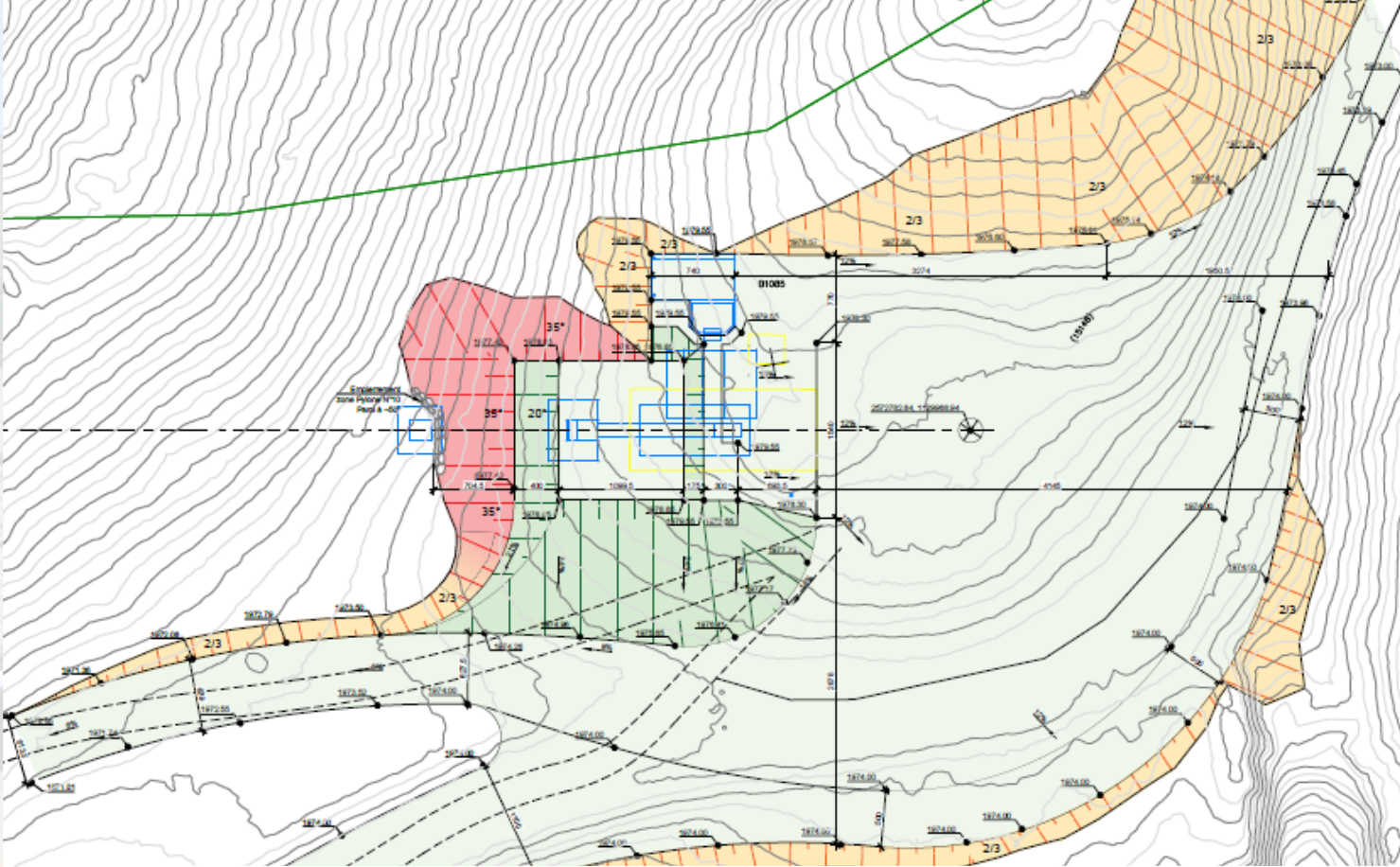
# TSD8 – P9

- Emplacement du P9: Enjeu potentiel: 2 semaines durant le chantier et 100 kCHF



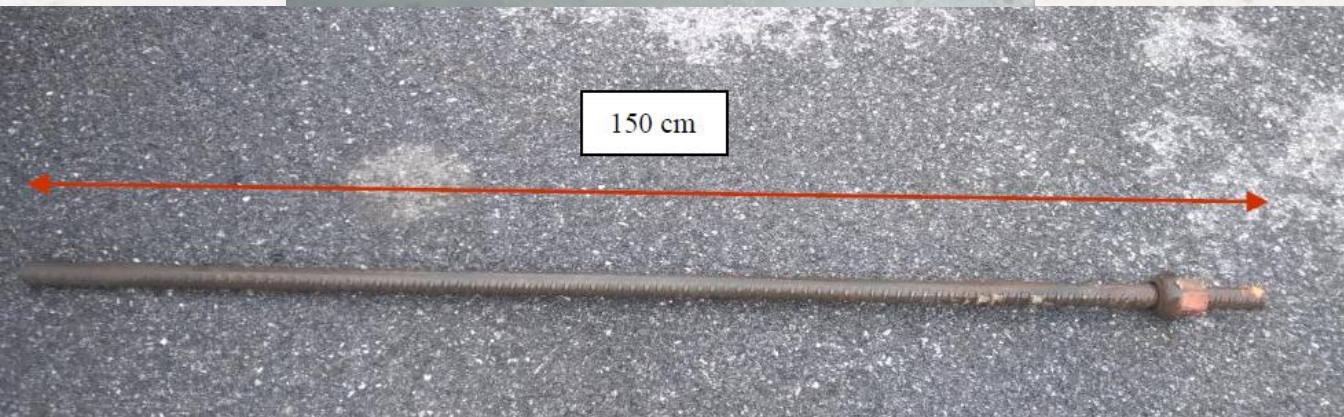
# TSD8 – Gare amont

- Aménagement de terrain: maximisation et optimisation débarquement.



# Exemples divers

- Tiges d'ancrages
  - Résistance nécessaire: 200 kN
  - Résistance réelle: < 10 kN
  - Un grave accident a été évité grâce au test réalisé avant chargement réel!



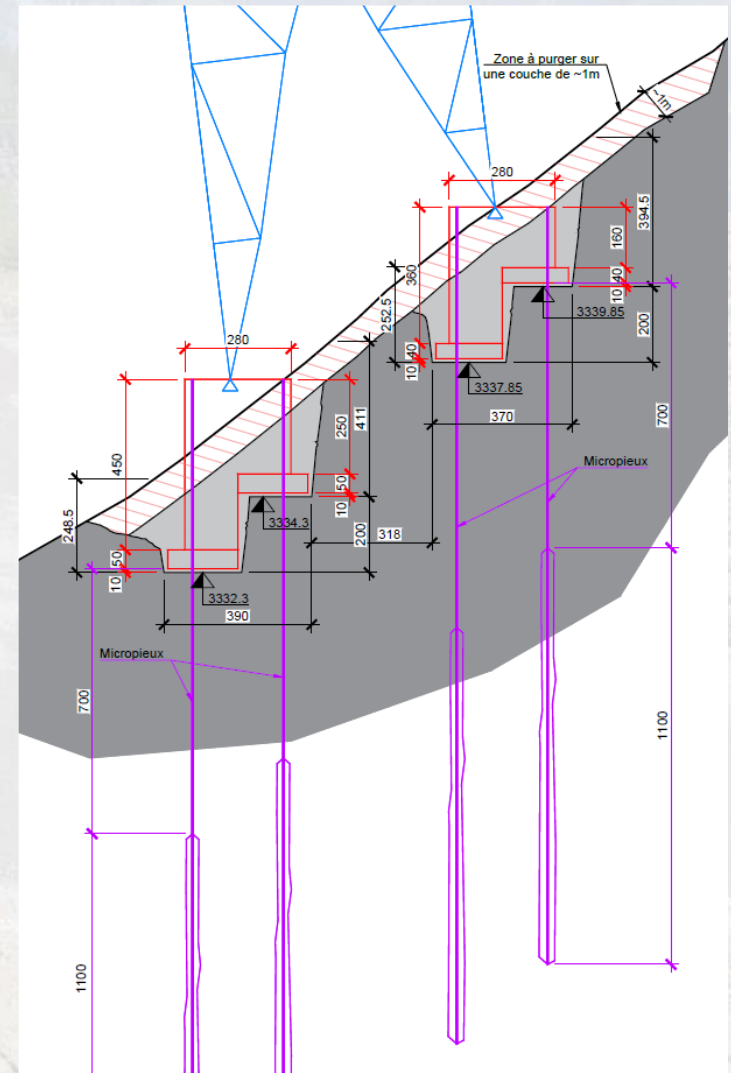
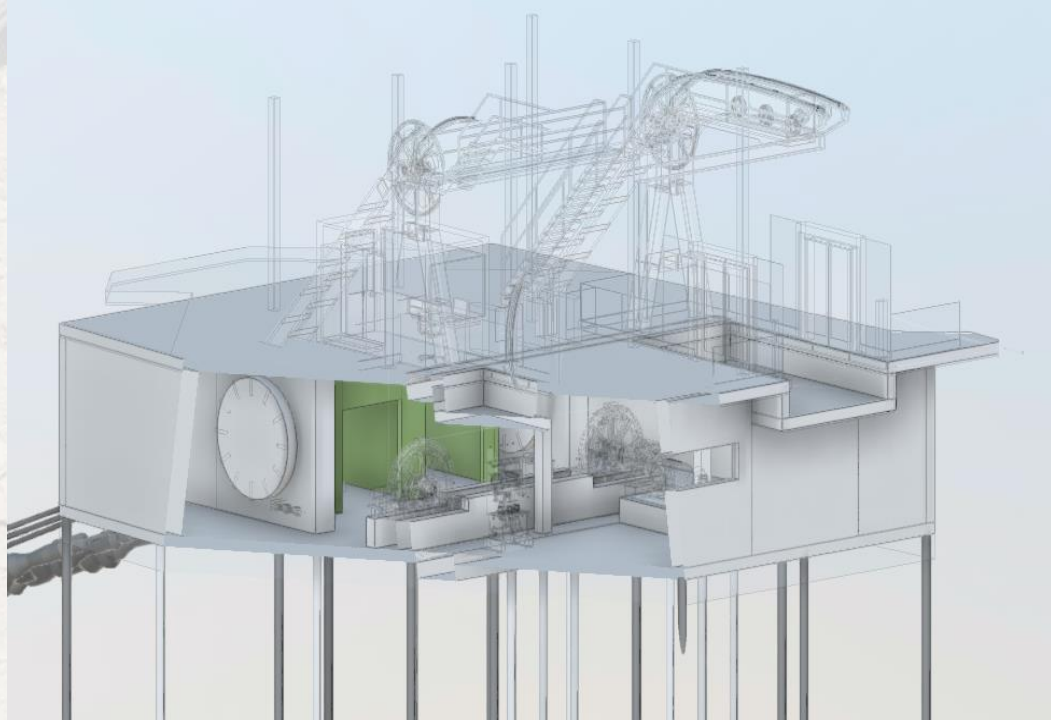
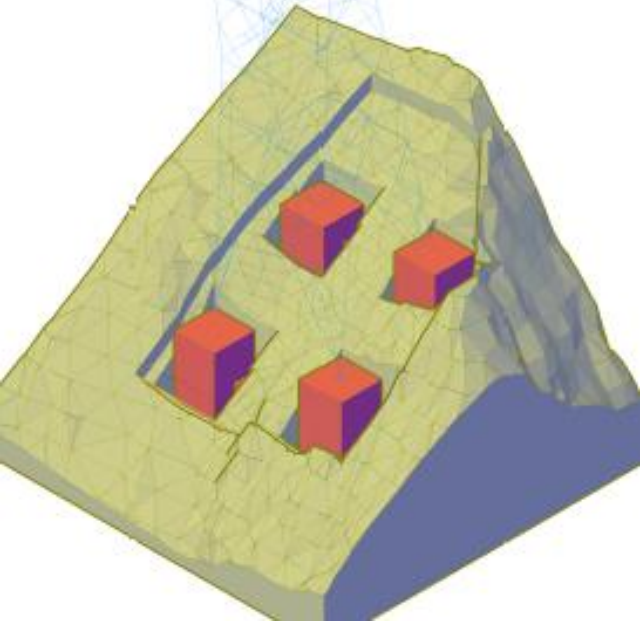
# Exemples divers

- Les exigences de résistance au feu d'une structure porteuse sont selon les normes de maximum 90 minutes.
- L'incendie a duré près de 24 h... Pourquoi le bâtiment ne s'est-il pas effondré?



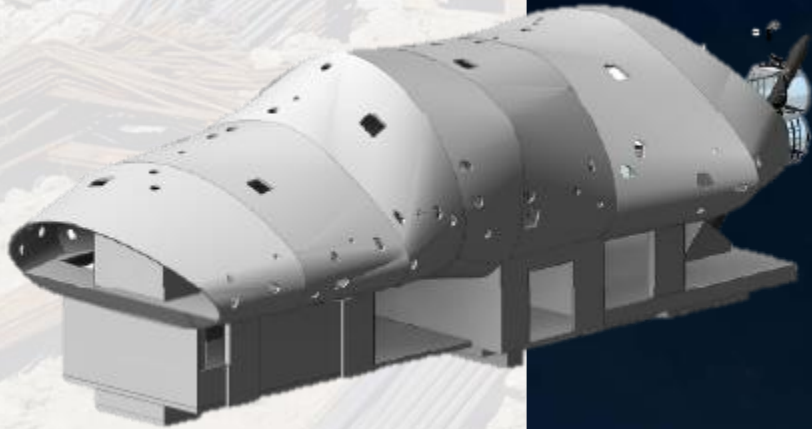
# Exemples divers

- Ancrages précontraints pour fondation pylône téléphérique
  - Alt 3'400 m
  - Roche: granit
  - Force d'ancrage: Env. 500 kN = 20 m<sup>3</sup> de béton économisé par ancrage = plus de 1'000 rotations hélico évitées!



# Exemple divers - Projets

- Projet de bâtiment architectural



# Exemples divers - projets



*Pour aller durablement haut, il faut une  
bonne base, n'oubliez pas d'être au  
chevet de vos ouvrages de GC!*

Merci pour votre  
attention!

