



**TERRASOL**

*Bureaux d'Ingénieurs-Conseils en Géotechnique*

**H. LE BISSONNAIS**

# Excavation et fondations du Viaduc de la Grande Ravine à La Réunion

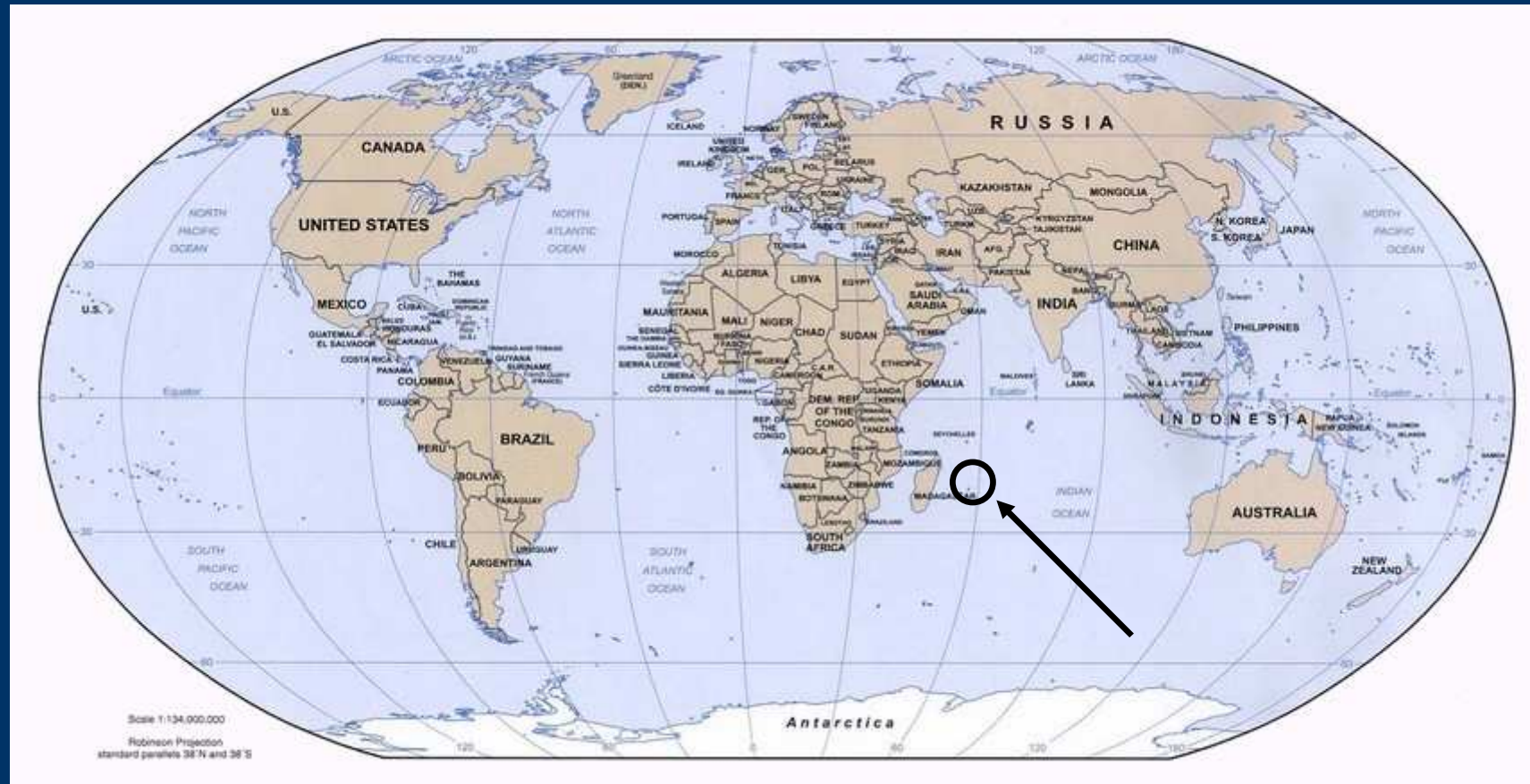
**CFMS - 13 octobre 2010 - Rôle de la géotechnique dans les grands projets**



# **SOMMAIRE**

- 1. Présentation du projet**
- 2. La géologie de La Réunion**
- 3. Les reconnaissances géotechniques**
- 4. Les fondations (études et travaux)**
- 5. Les terrassements**

# Présentation du projet



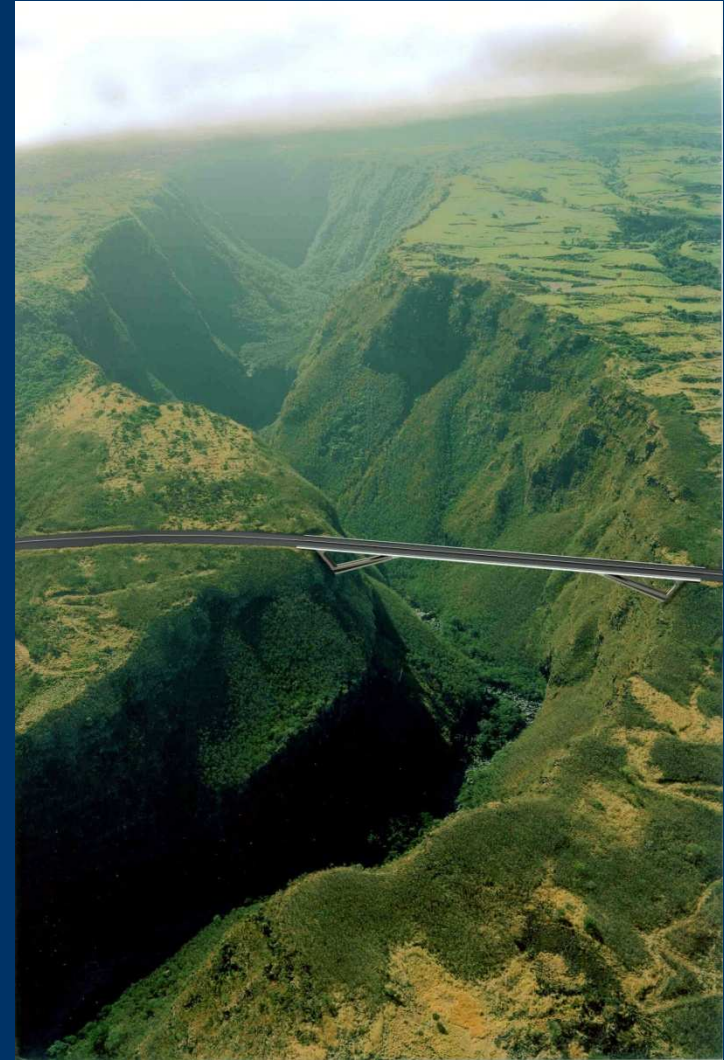
# Présentation du projet

- Route des Tamarins, sur l'île de la Réunion
- Concours de maîtrise d'œuvre complète pour la conception et la réalisation de l'ouvrage exceptionnel de franchissement de la Grande Ravine remporté en mars 2002 par le groupement SETEC TPI / SPIELMANN
- Etudes d'avant-projet et de projet menées entre 2002 et 2004
- Travaux de construction de l'ouvrage de 2005 à 2009

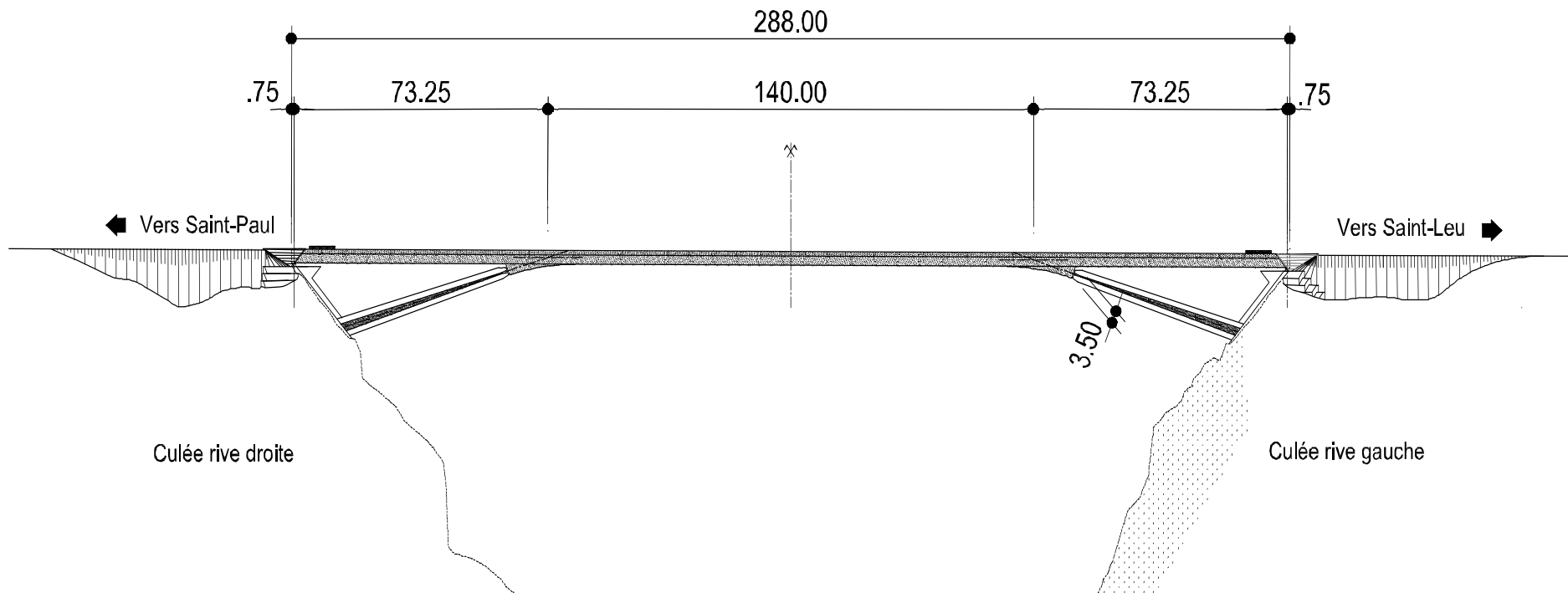


# Contraintes du projet

- Contraintes fonctionnelles
  - Profil en long = pente unique de 0,5%
  - Alignement droit
  - Largeur roulable = 18,60 m
- Données naturelles
  - Dimensions de la brèche : 320 m de large au niveau du terrain naturel, 170 m de profondeur
  - Flancs de la ravine constitués d'alternance de bancs métriques de basalte et de scories de qualité moyenne
  - Phénomènes climatiques tels que dépressions tropicales et cyclones
- Contraintes environnementales
  - Faune et flore sensible (site de nidifications d'une espèce protégée d'oiseaux indigènes)
  - Interdiction de tout type de structure suspendue



# Conception générale de l'ouvrage



# Parti architectural

Une lame dans le paysage



# Parti architectural

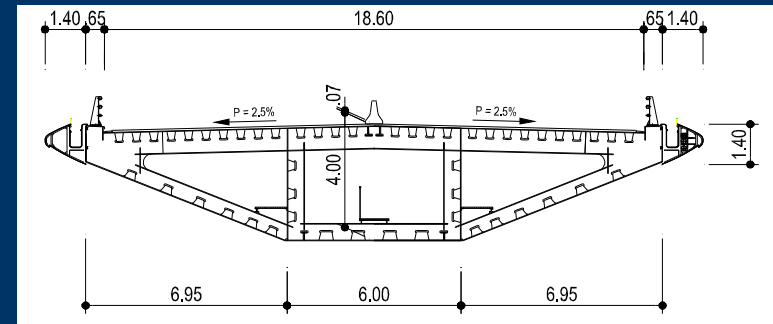
Une lame dans le paysage



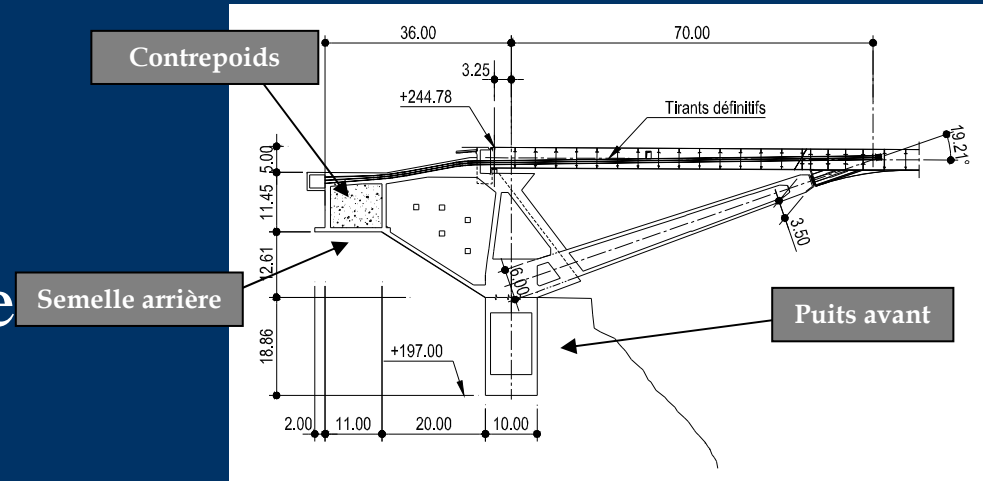


# La structure

- Tablier métallique
- Bracons = caisson en béton précontraint (B60) incliné à  $20^\circ$  sur l'horizontale
- Culées = boîte en béton partiellement précontraint à hauteur variable (B40)
- Fondation : puits de 10 m de diamètre et 20 m de profondeur



Coupe transversale du tablier



Coupe longitudinale sur culée

# Phasage de construction



## 1 – Terrassements

~~12 – Soudage des sabots, mise en tension progressive des câbles de tirant définitif, détension progressive des câbles de tirant provisoire, déverinage progressif des appuis de lancement~~

~~13 – Soudage des sabots, mise en tension progressive des câbles de tirant définitif, détension progressive des câbles de tirant provisoire, déverinage progressif des appuis de lancement~~

15 – Soudage des sabots, mise en tension progressive des câbles de tirant définitif, détension progressive des câbles de tirant provisoire, déverinage progressif des appuis de lancement

# Géologie générale de la réunion

- Phase I (Phase sous-marine )
- Phase II (2mA - 450 mA)
  - émergence et ossature du massif du piton des neiges
  - Basaltes et Océanites (à olivines)
  - mise en place des Brèches de Saint Gilles (» 430 mA)
- Phase III (350 mA – 250 mA)
  - Andésites aphyriques ou à feldspaths (« pintade »)
  - apparition du massif du Piton de la Fournaise
- Phase IV (230 mA à 70 mA)
  - Basaltes, Mugéarites

# Géologie

**Bancs dur de « basalte »**  
**Laves fluides et coulées à surface lisse (« pahoehoe »)**



# Géologie

**Bancs tendres de scories & brèches de progression  
Laves visqueuses en « graton »**



# Géologie

## Alternance de niveaux de basalte et de scories Aspect régulier à grande échelle



## LES RECONNAISSANCES

**Difficulté des reconnaissances dans ce contexte hétérogène :**

**Chaque sondage n'est représentatif que d'une zone limitée → les corrélations entre bancs sont difficiles**

**Nécessité de renforcer la densité de sondage afin d'obtenir une représentativité « statistique » sur un ouvrage géotechnique**

**Nécessité de caractériser la variabilité**

**Identifier les grands ensembles et le contexte (vallées fossiles,.. )**

# LES RECONNAISSANCES

**Levé géologique des rives de la ravine (en acrobatique)**



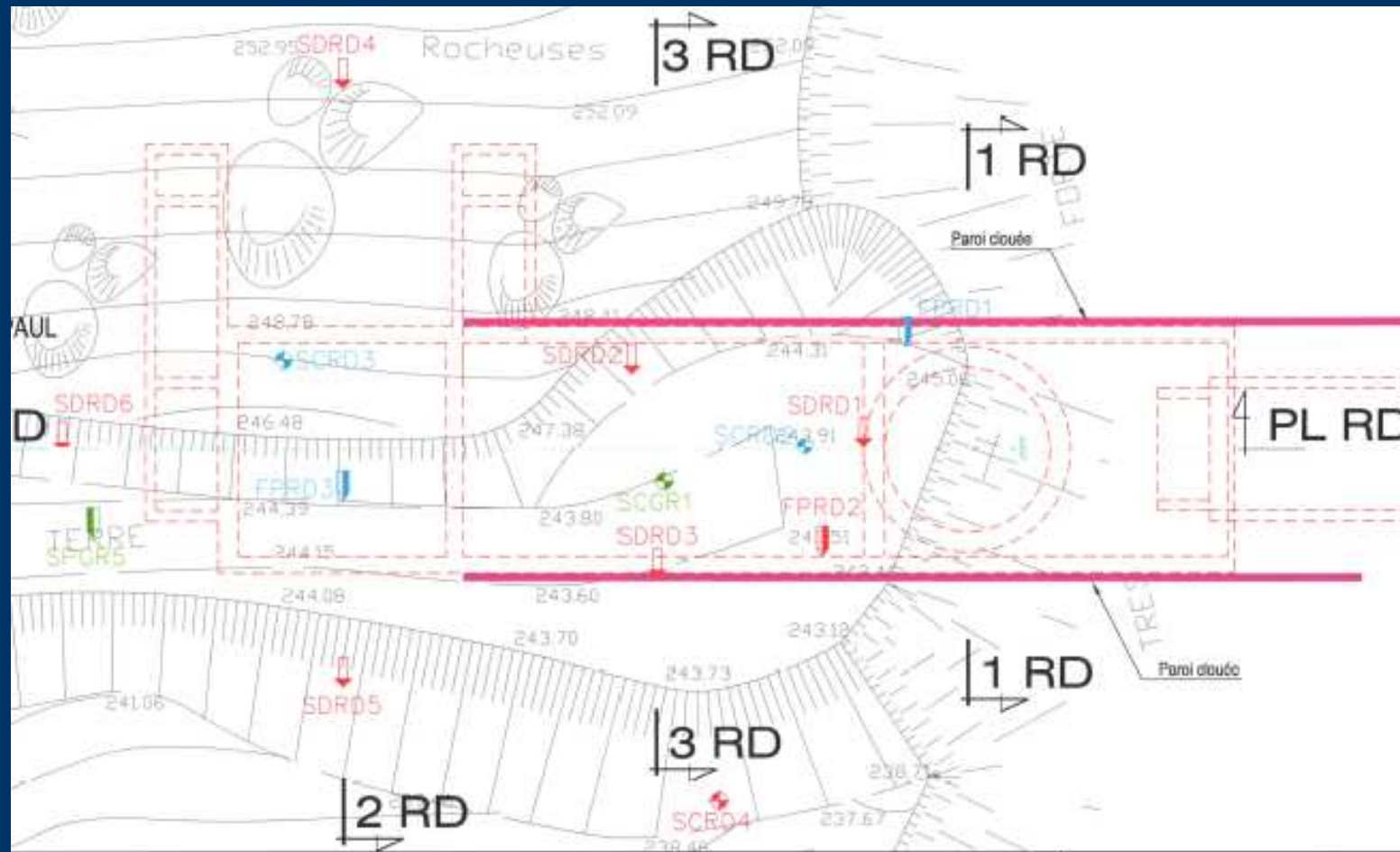


## LES RECONNAISSANCES

### Reconnaitances par sondages :

- Campagne APS (1995) : 2 SP et 2 SC
- Campagne EPOA (phase 1) exécutée par LRR phase 1 (juin – juillet 2002) comportant 4 SC et 4 SP
- Campagne PRO (phase 2) exécutée par LRR (septembre – novembre 2002) comportant 3 SC, 2 SP et 11 SD

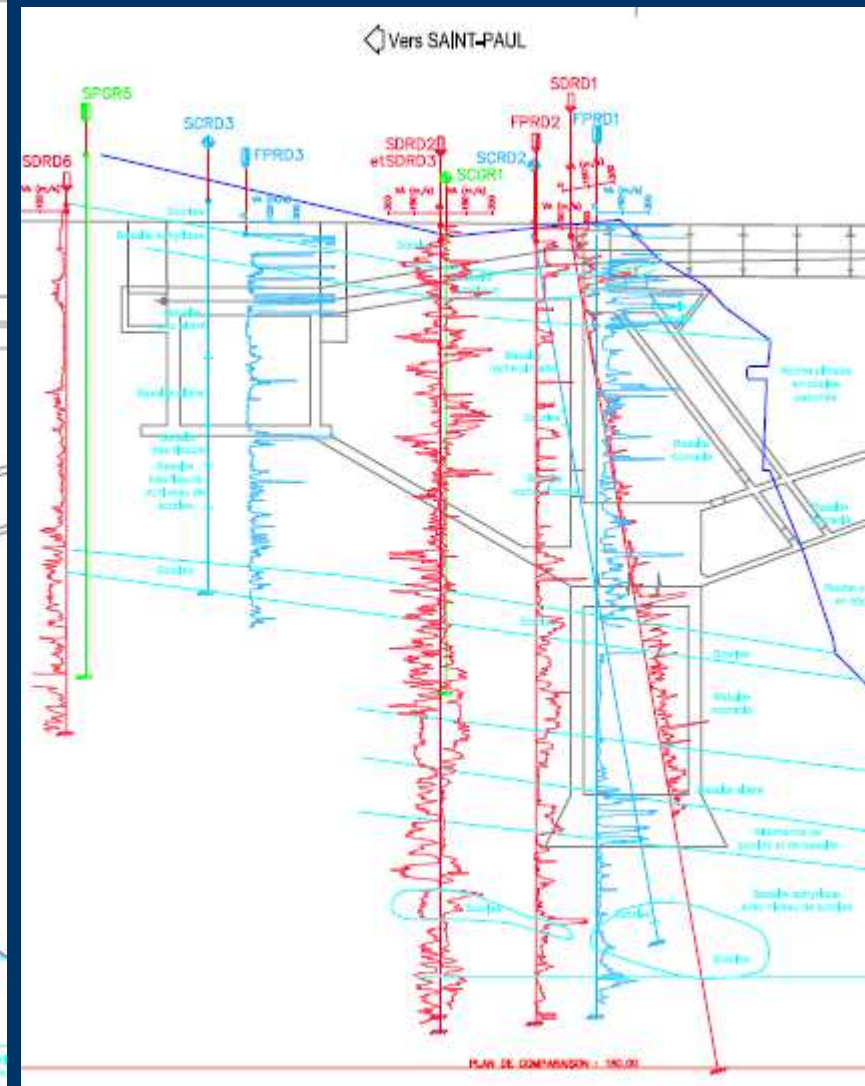
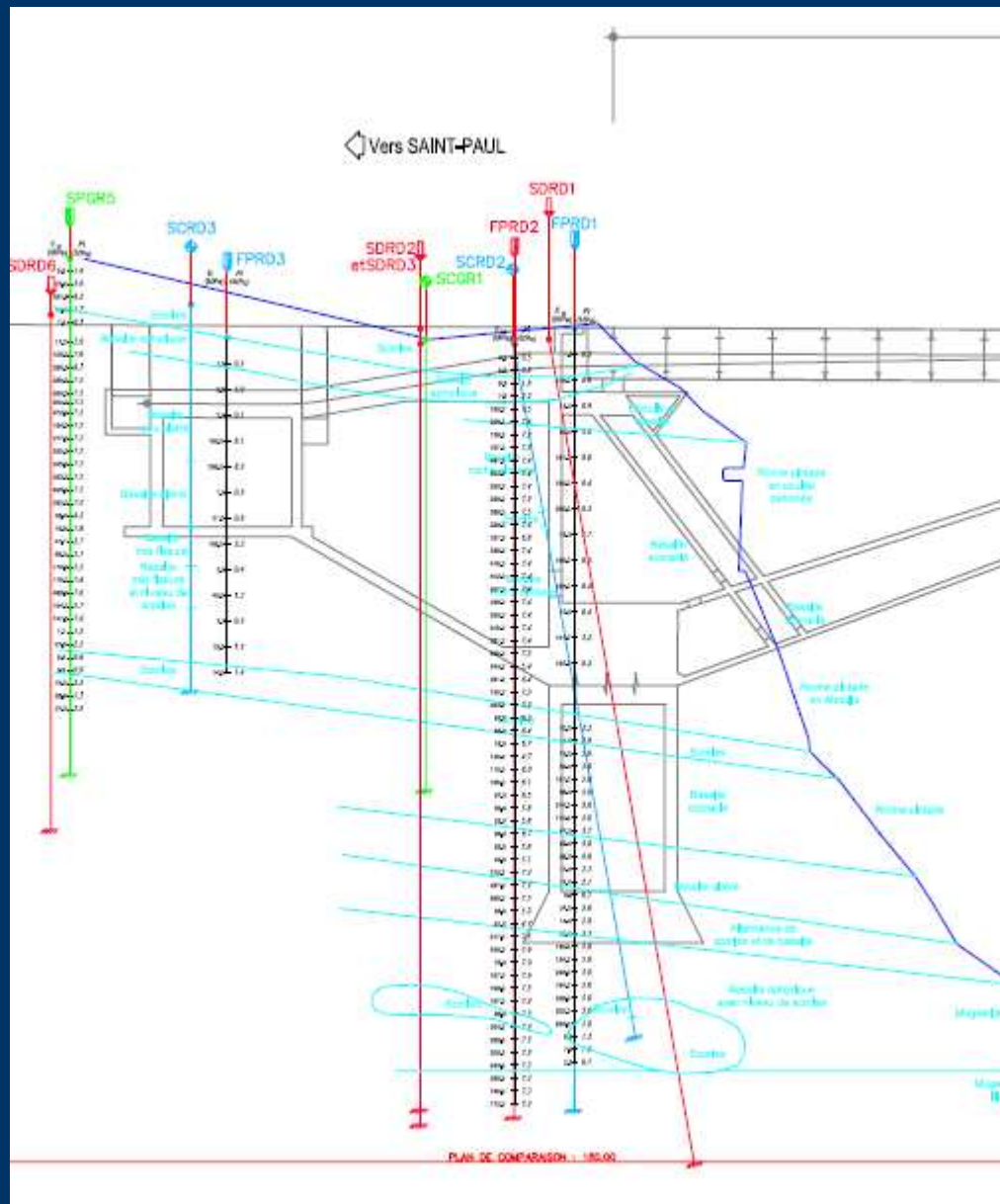
# Les reconnaissances (Rive Droite)



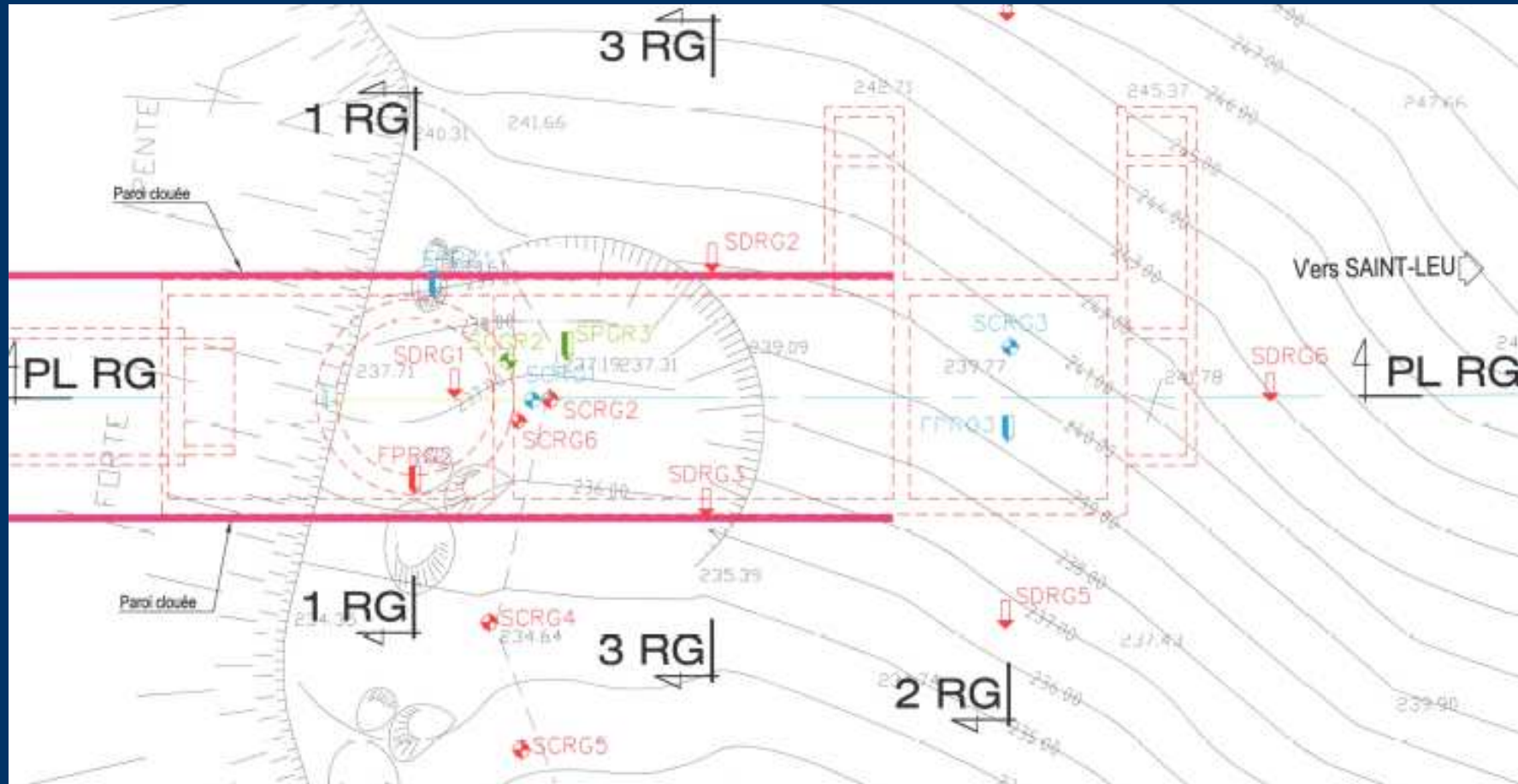
**Difficulté : proximité de la Ravine (d'où forages inclinés)**

**Reconnaitances basées sur sondages carottés et pressiométriques**

# Les reconnaissances



# Les reconnaissances (rive Gauche)





## Rive gauche

**Particularité : sous cavage / cavité au droit de la culée**



## Les reconnaissances : sondages carottés



## Les reconnaissances : essais pressiométriques

Sur la base des essais pressiométriques (souvent standards),

- sols « rocheux » : pression de fluage  $> 5$  MPa : basaltes, brèches bien cimentés,

- Matériaux scoriacés :  $1,5 < \text{pression limite} < 5$  MPa : coulées de grattons, brèches mal cimentées, scories fermées, etc...

- Scories : pression limite  $< 1,5$  MPa : scories plus ou moins aérées

- Scories très aérées  $PI < 1$  MPa : essai non représentatif mais matériau de faible résistance



## Les études des fondations

**Approche mécanique des sols à partir des essais pressiométriques :**

- **fondation semi profonde (selon fascicule 62 hauteur d'encastrement comprise entre 1,5 et 5 fois la largeur) : frottement mobilisé le long du puits qu'à compter de  $D_0 = 1,5 B$**
- **fondation superficielle : prise en compte de la contrainte verticale effective après travaux (en bordure de ravine...)**
- **fondation profonde : frottement sur l'ensemble des parois du puits**

## Les études des fondations

Approche mécanique des sols à partir essais pressiométriques :

Difficultés pour définir les caractéristiques représentatives du massif :

- valeurs toujours très dispersées,
- sous estimation des valeurs :
  - ✓ dans le rocher (limitation capacité sonde)
  - ✓ dans les scories : déstructuration, tenue du forage

Problèmes de procédure.

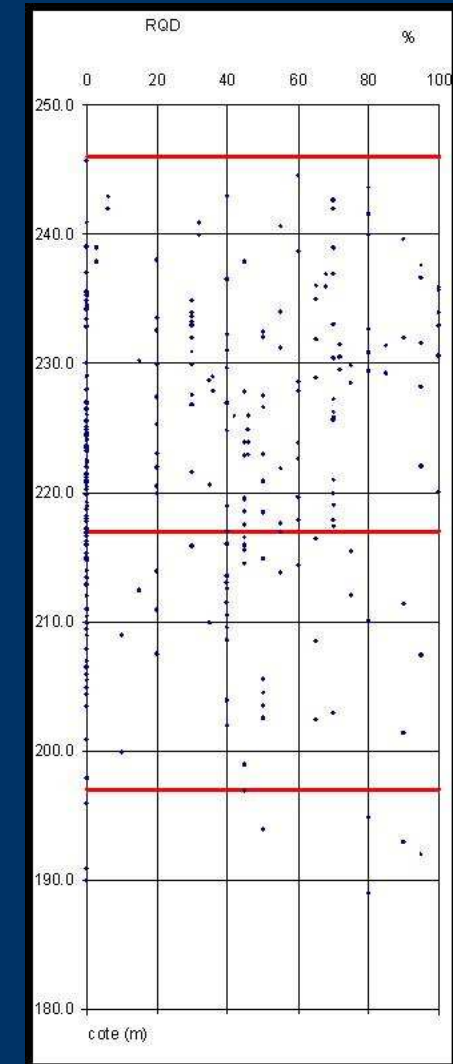
# Les études des fondations

Approche mécanique des roches :  
classification AFTES  
RMR , critère de Hoek & Brown

Difficultés :

- dispersion des valeurs de fracturation (RQD)
- caractérisation des joints
- Pas d'orientation des structures et discontinuités

Mais permet de justifier une capacité portante plus importante

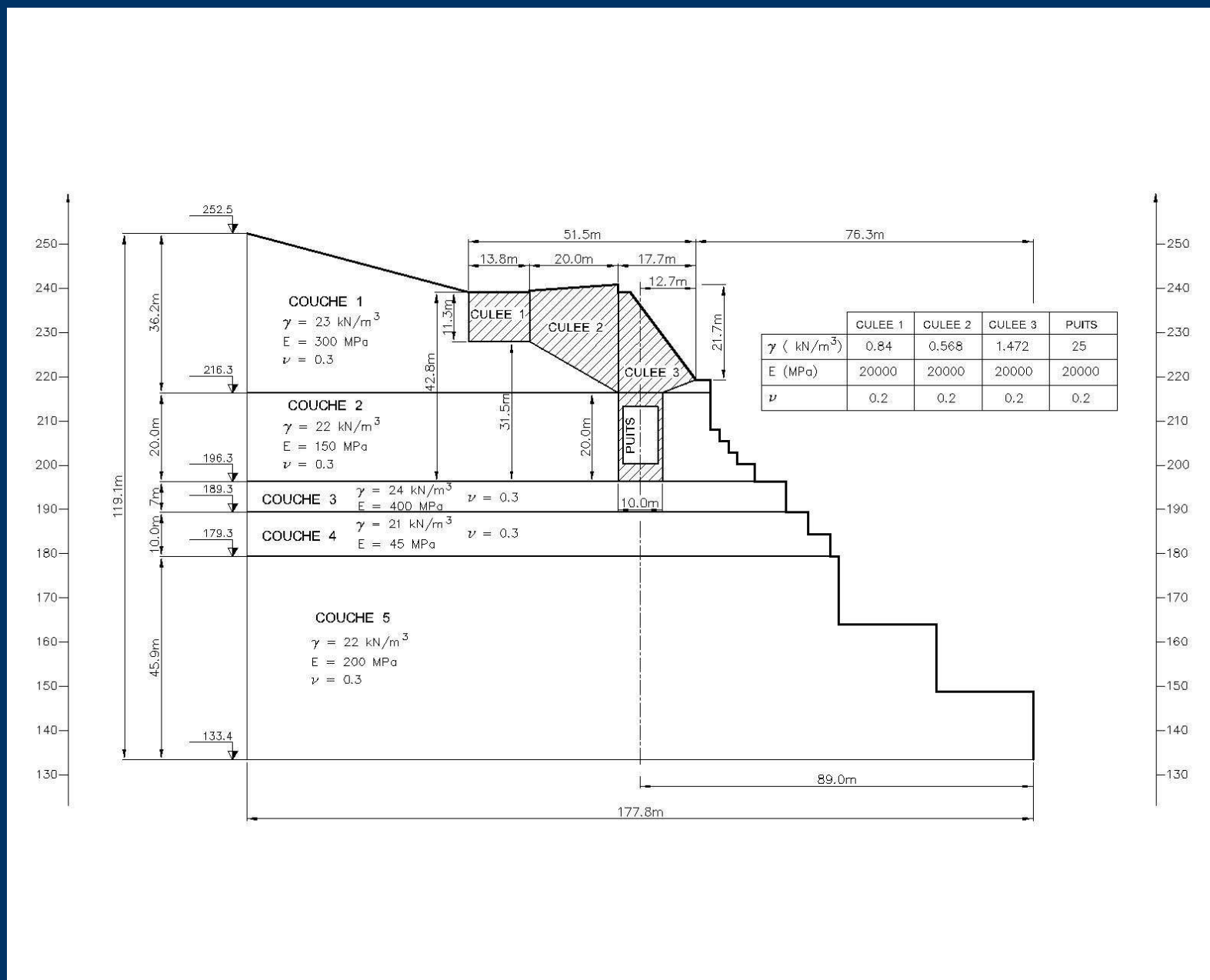


# Les études des fondations

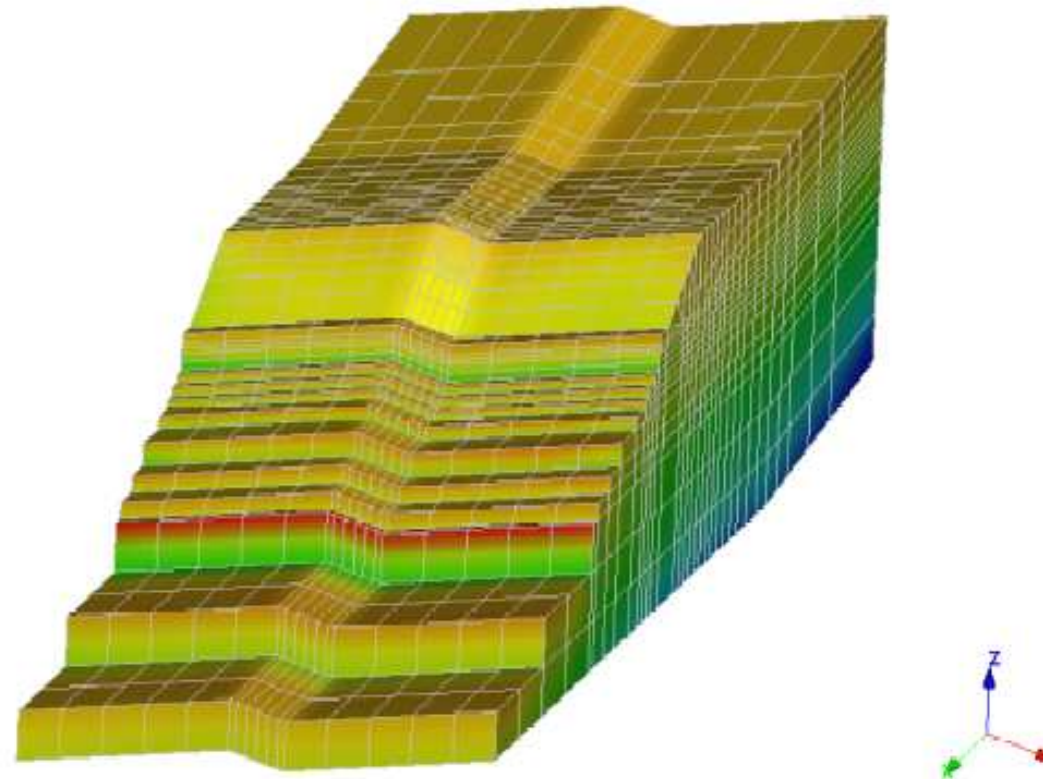
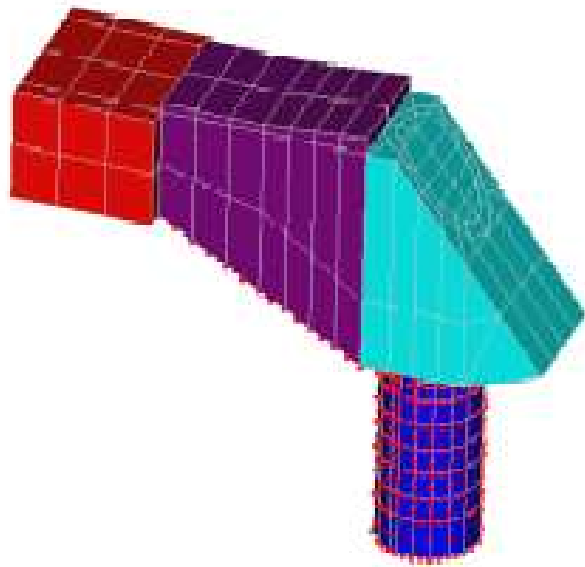
**En phase exécution :**

**Le chantier a basculé entièrement dans l'approche mécanique des sols basée sur les pressiomètres et fascicule 62**

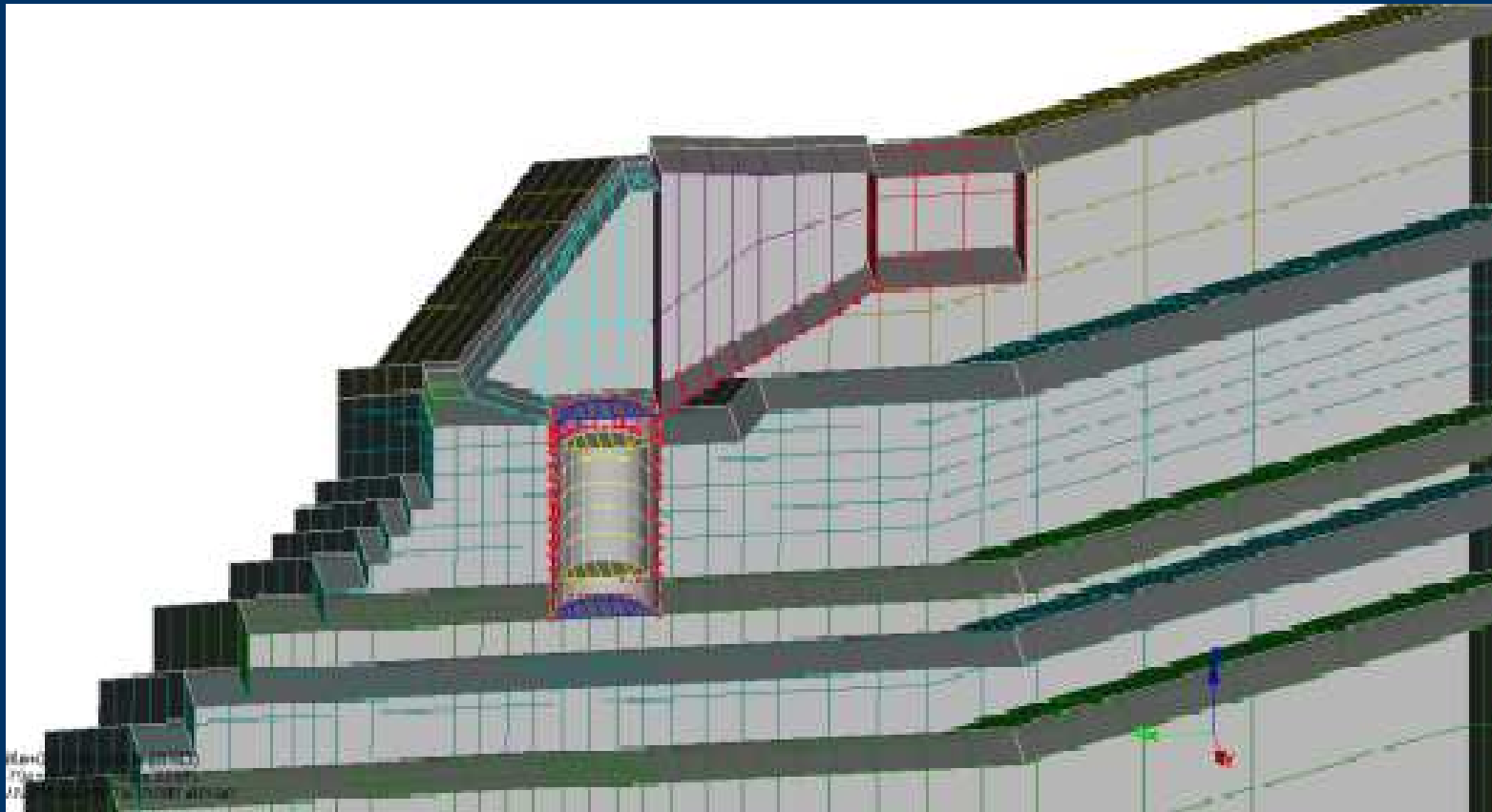
# Les FONDATIONS : Modélisation Éléments finis



# Les FONDATIONS : Modélisation Éléments finis tridimensionnelle



# Les FONDATIONS

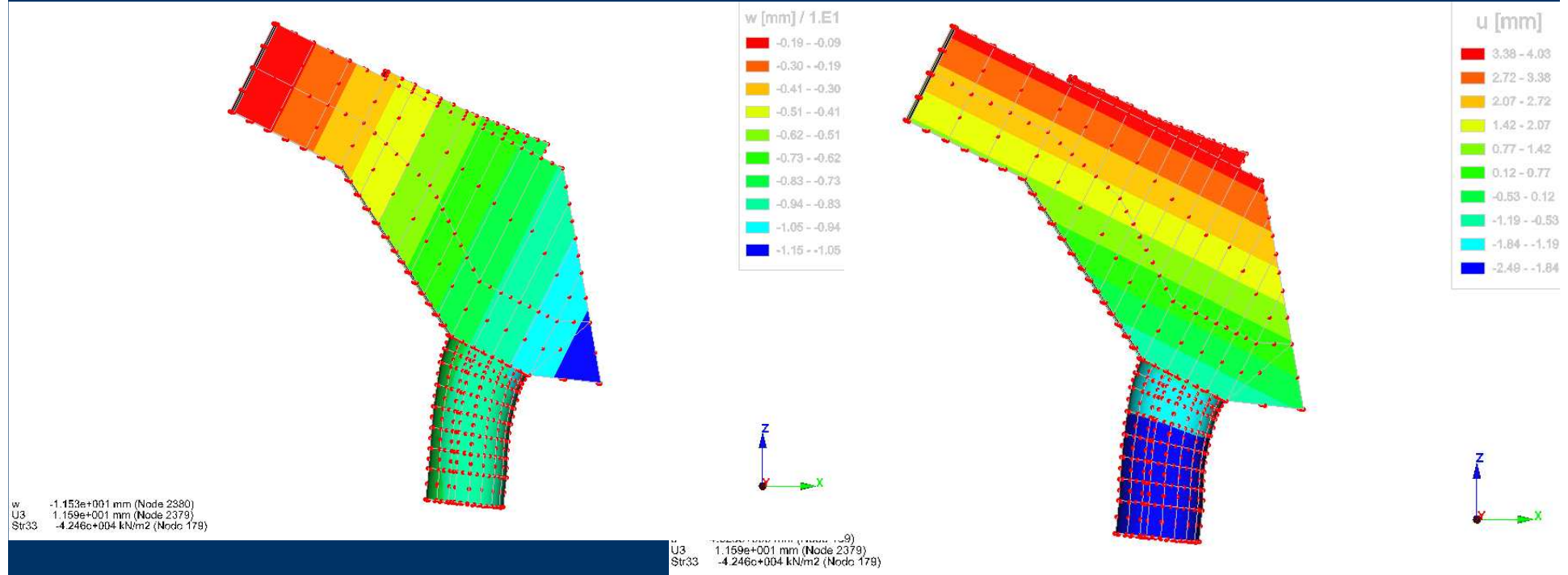


# LES FONDATIONS

## RESULTATS PHASE 7 : FIN DE CONSTRUCTION AVANT CLAVAGE

Le tassement maximal du puits est de 11 mm

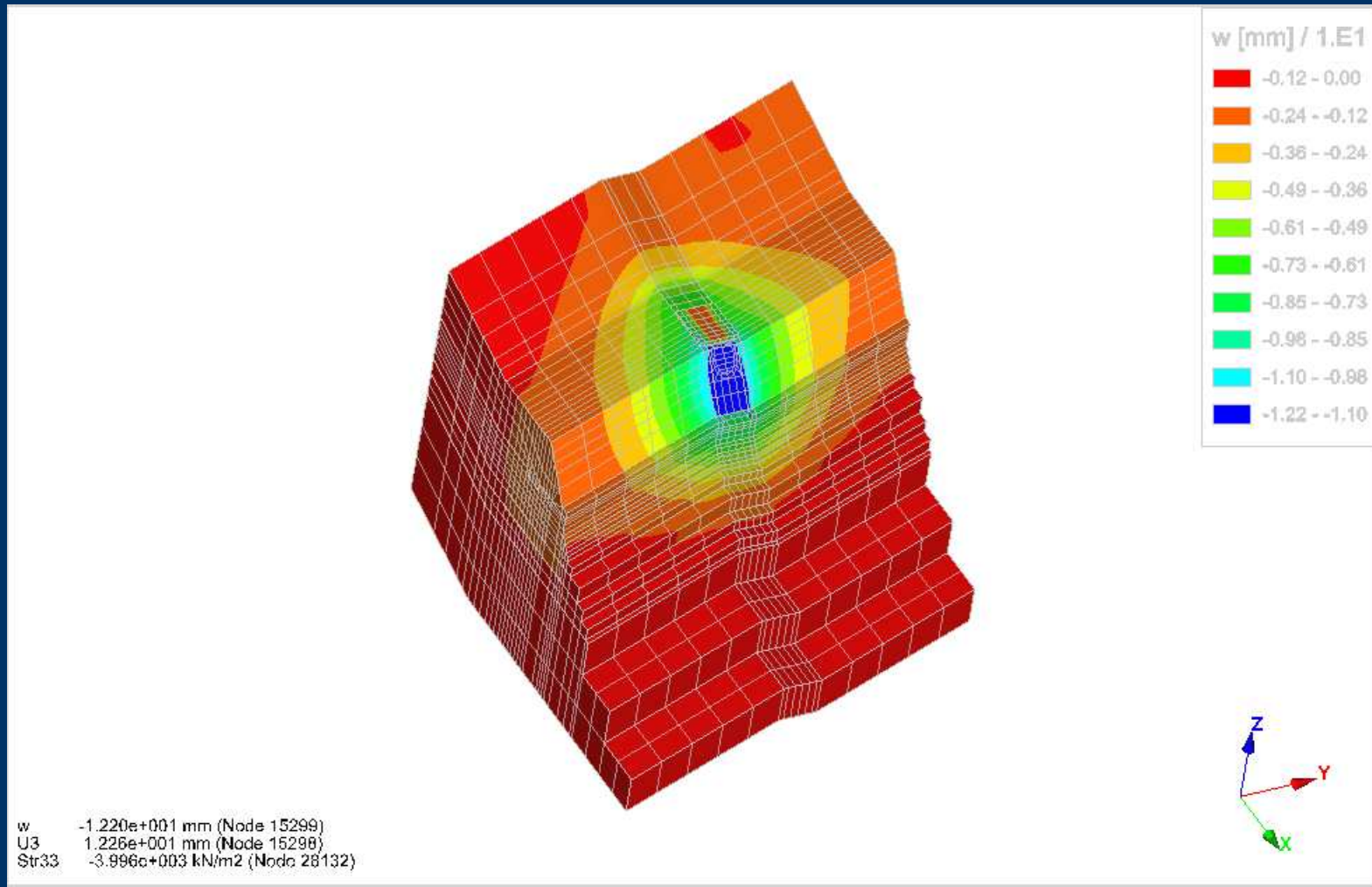
Déplacement selon x : 3,4 mm de déplacement max vers l'avant





# Les FONDATIONS

Déplacements selon x : de l'ordre du mm en flanc de ravine

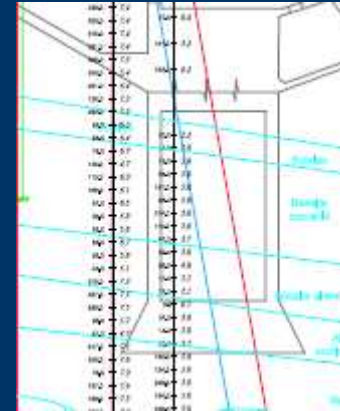


# LES FONDATIONS

**EPOA : élargissement pied du puits (patte d'éléphant) : 14 m de diamètre à la base**

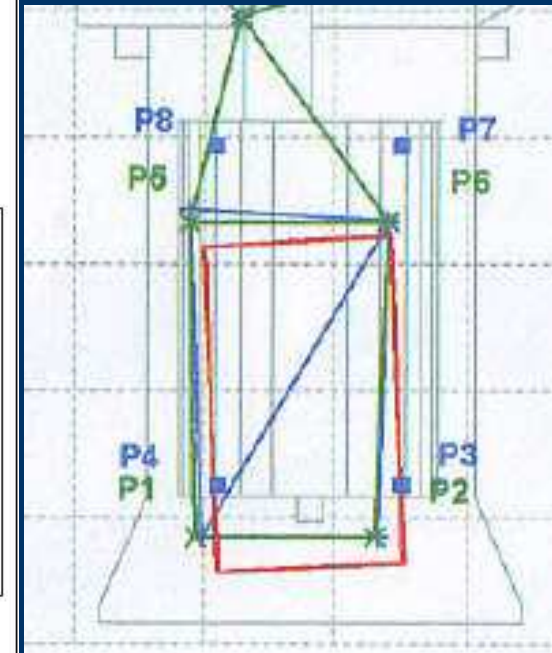
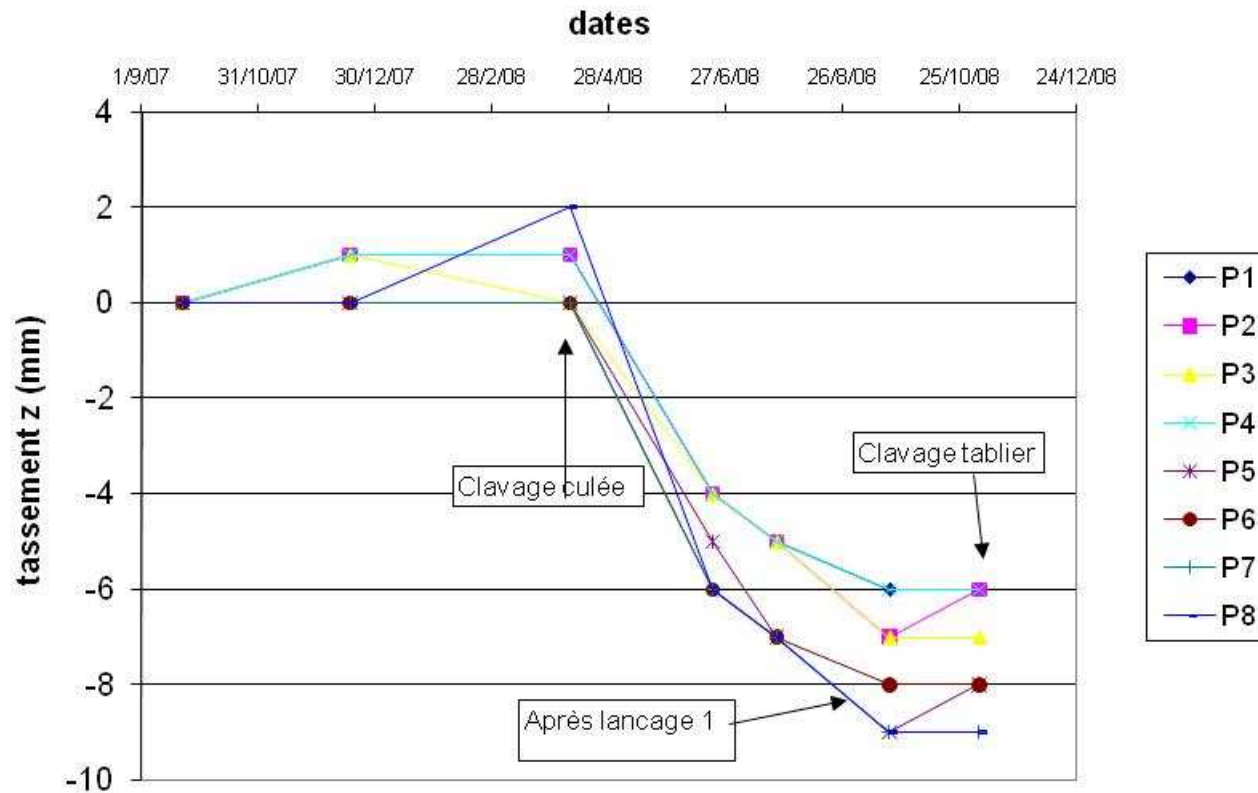
**POA : suppression patte d'éléphant contrainte au sol de l'ordre de 2,5 MPa, renforcement éventuel assise du puits par injection**

**EXECUTION : retour aux pattes d'éléphant lié à l'aspect déformation lors des phases de lançage : difficulté pour définir le module de déformation du massif (présence scories, bancs rocheux)**



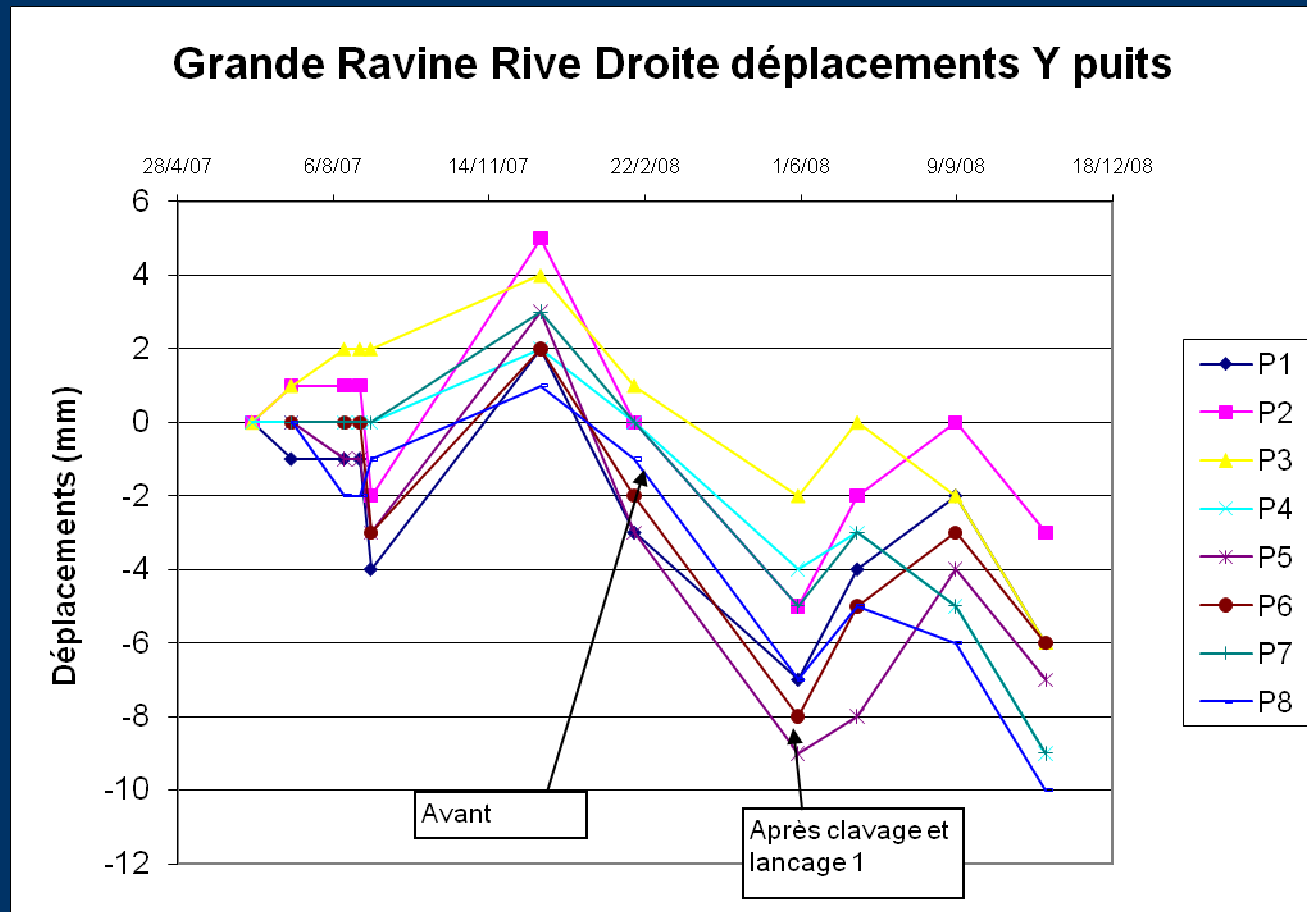
# Les FONDATIONS : mesures des déplacements pendant la construction

Grande Ravine Rive Gauche tassements puits



Tassements inferieurs au centimètre

# Les FONDATIONS : mesures des déplacements pendant la construction



Déplacements horizontaux de l'ordre du centimètre

# LES TERRASSEMENTS

Paroi de plus de 30 m de hauteur coté amont (jusqu'à la tête du puits)

Talus verticaux avec risberme tous les 10m

Proximité ravine

Puits de 20 m de profondeur



## LES TERRASSEMENTS : mode d'excavation

Alternances de bancs durs ( $R_c > 100 \text{ Mpa}$ ) et tendres (scorie) => problème de découpage des talus

Explosif ou BRH ?

- Difficulté de contrôle de la foration en minage

Faibles rendements de chargement

- Difficulté de respect de la géométrie des talus au excavé au BRH

Talus +/- irréguliers (surtout en cas de bancs épais)

Problème d'emprise : pas de possibilité de surlargeur pour piège à cailloux

## Les terrassements

**Confortement parois par béton projeté et clous systématique ou optimisation ?**

**Projet : Systématique : clouage maille 2x2, L = 4 m**

**Marché : Optimisation : clouage adapté à chaque passe (pas de confortement si roche saine, clouage si scorie en banc d'épaisseur > 3m)**

**Travaux : difficulté pour optimisation (risque de nécessité de revenir renforcer le talus si niveau inférieur de qualité médiocre)**

# Les terrassements



## Exemple de talus sans clouage

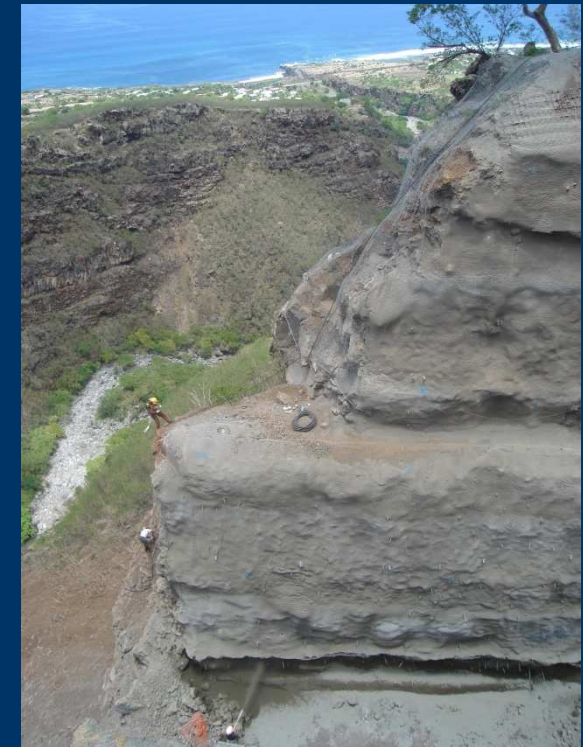


# Les terrassements



**Difficulté de réalisation du clouage dans niveau scoriacé : éboulement, sous cavage : utilisation de clous autoforeurs**

# Les terrassements : difficulté en rive droite instabilité en flanc de ravine, nécessité de purge et renforcement (clouage, grillage) en acrobatique



## Les terrassements : difficulté en rive droite



# Terrassement des puits : confortement systématique (béton projeté + clous)

## Forage de contrôle en fond de puits, injection



## Terrassement des puits

**Réception fond de puits RD : nécessité de purge poche scoriacée**



# Merci pour votre attention

