

# HKZMB LR09 – PONT HONG KONG MACAO



# INTERVENANTS



## Employer

The Government of HKSAR  
Administrated by Highways Department  
HZMB Project Management Office



## Supervising Officer

Ove Arup & Partners



## Design and Build Contractor

Dragages-China Harbour-VSL Joint Venture



Designer  
Mott MacDonald Hong Kong



Designer  
YWL Engineering Pte Ltd



Technical supports  
Bouygues Travaux Publics



Design Checker  
AECOM Asia

# HKZMB LR09 – PONT HONG KONG MACAO

## En résumé

Longueur 9.4 km viaducts

pieux 725 u

Voies 2 x 3 voies

tablier 5,743 voussoirs

Portée 75m (typ.) to 180m

béton 710,000 m<sup>3</sup>

Contrat HK\$ 12.86 bn (HK\$10 : €1)

acier 204,000 tonnes

Viaducs 9,4 km –  
115 piles – 725 pieux forés  $\Phi$  2.50m/2.80m/3.00m

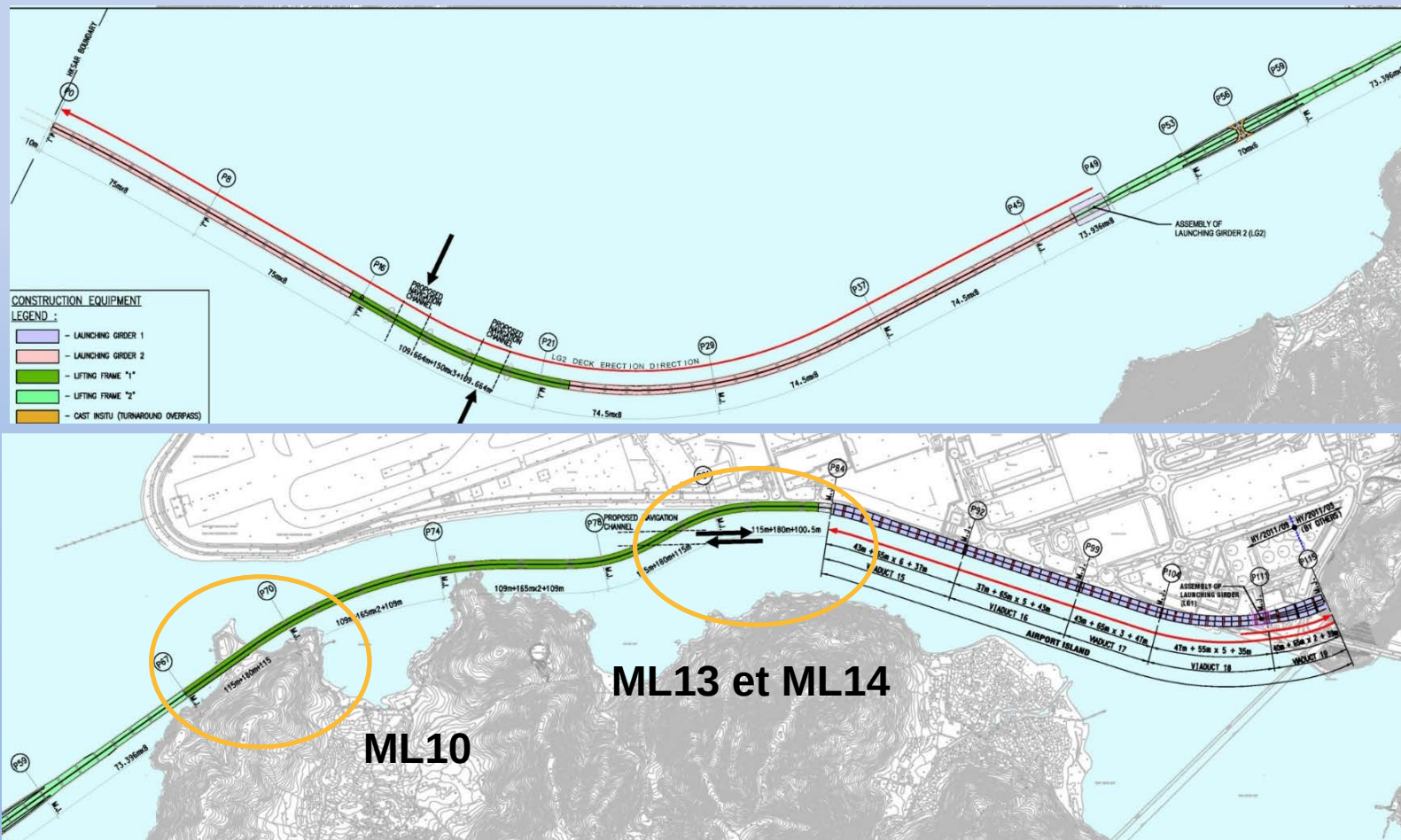




# OUVRAGE – PROFIL LONGITUDINAL

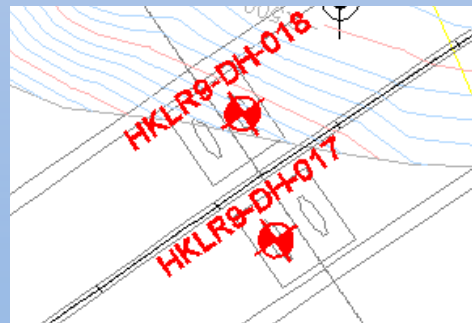
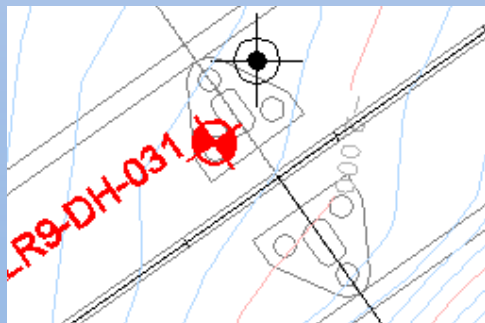
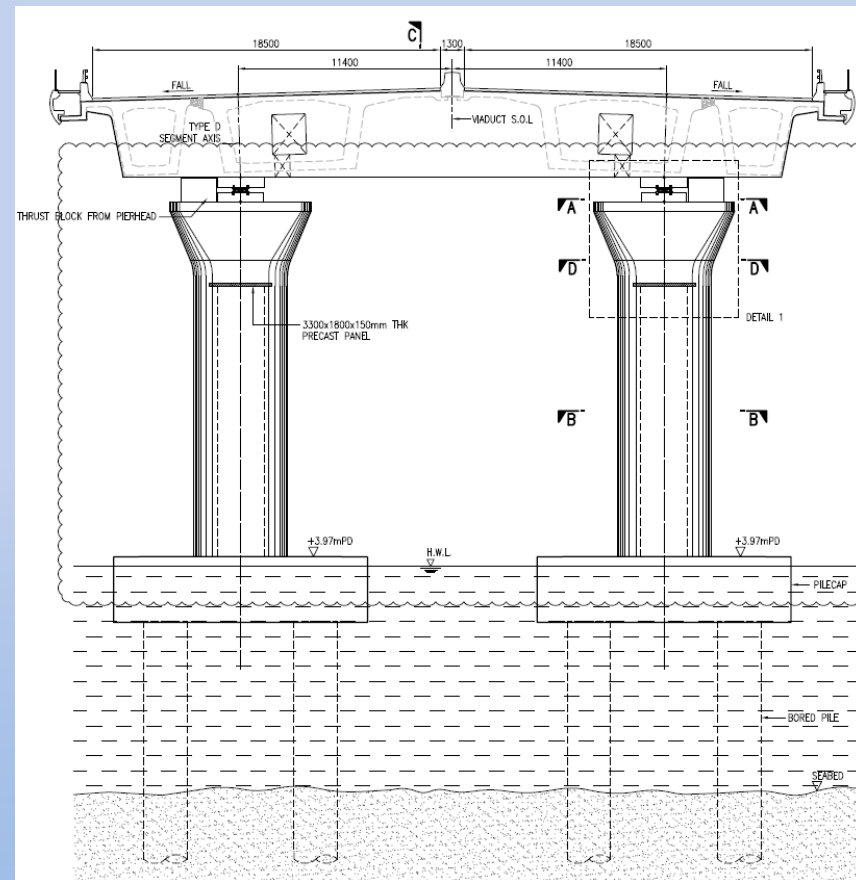
Le pont objet du contrat présente un linéaire de 9,4 km et se compose de 19 viaducs, numérotés ML1 à ML19. Les viaducs présentent des tabliers de 70 à 180 m de portée.

Le site peut être divisé en deux zones distinctes : les Western Waters et l'Airport Channel. Les viaducs ML10, ML13 et ML14 étudiés par le Bureau d'Etudes de BYTP en phase d'exécution séparent l'île de l'aéroport Check Lap Kok et l'île de Lantau.



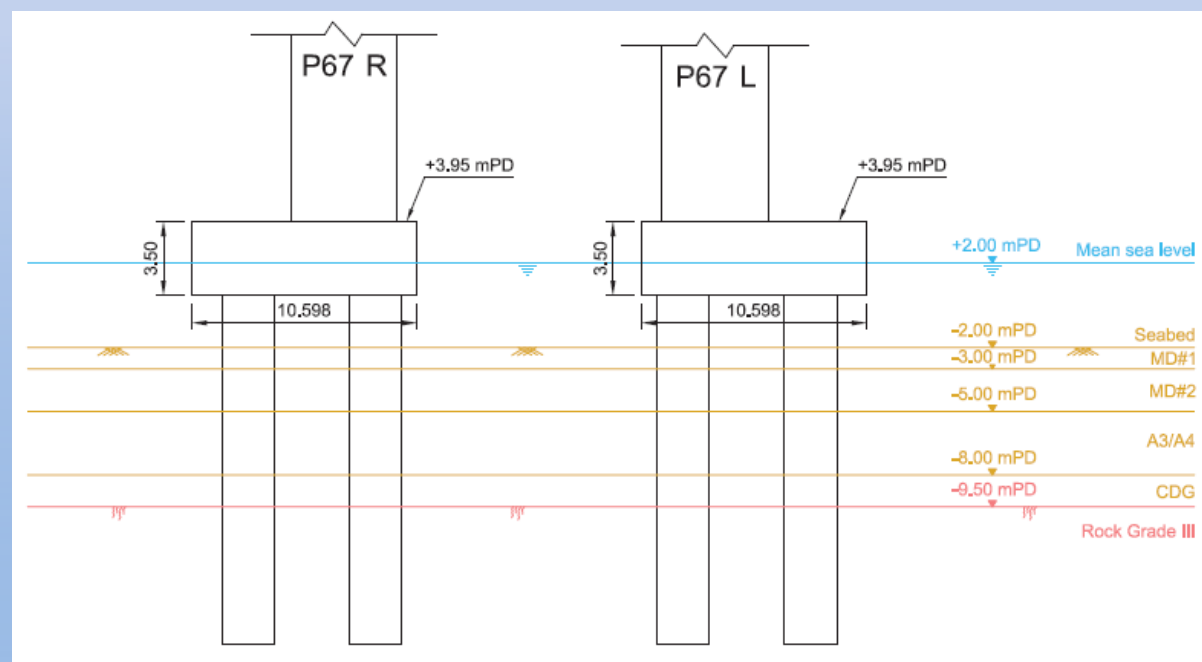
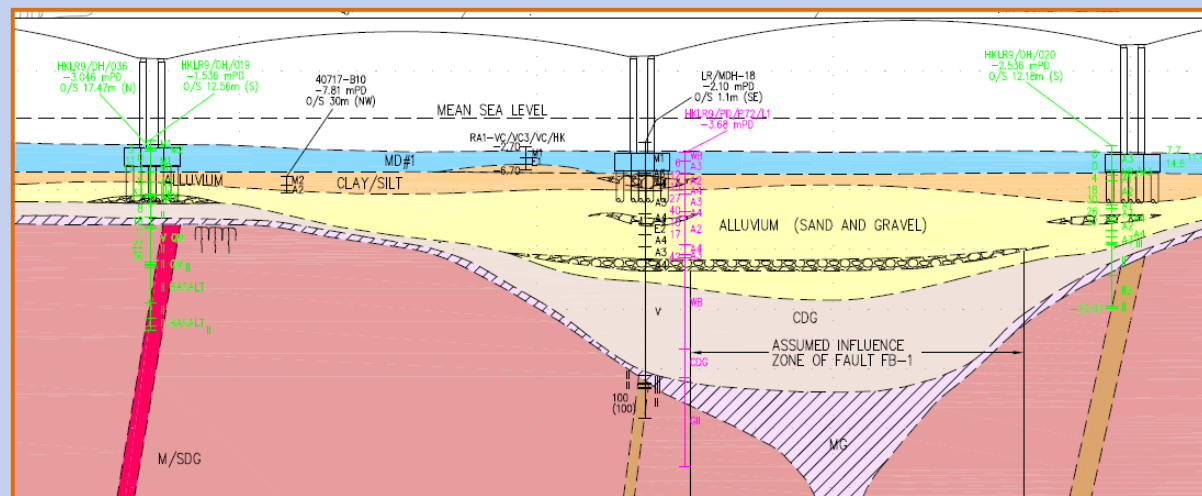
# APPUIS – ELEVATION - COUPE TYPE

- Chaque appui d'un viaduc repose sur deux semelles indépendantes. Elles sont de formes approximativement triangulaires (appuis de rive) ou rectangulaires (appuis courants).
- Chaque semelle est fondée sur 3 à 6 pieux forés en béton ancrés systématiquement dans le substratum granitique. Les pieux forés ont un diamètre compris entre 2,5m , 2,8m et 3,0 mètres.



# CONTEXTE GEOLOGIQUE - GEOTECHNIQUE

- Les terrains se composent d'une succession de dépôts marins (formation de Hang Hau Marine Deposit MD#1) puis d'alluvions argilo-limoneux (Alluvium A1/A2) et sablo-graveleux (Alluvium A3/A4), dite formation de Chek Lap Kok. Vient ensuite le chaos granitique (CDG) et le substratum granitique (Rock) où sont fondés les pieux.
- Compte-tenu de la réglementation de HKG le dimensionnement des pieux n'est fonction que de la hauteur de dépôts marins (frottement négatif) ainsi que des profondeurs et classes de rocher granitique (portance).



# CLASSIFICATION DU ROCHER GRANITIQUE

Le Geoguide 3 permet de caractériser les différentes classes de granite à Hong-Kong.

| Descriptive Term      | Grade Symbol | General Characteristics for Granitic & Volcanic Rocks & Other Rocks of Equivalent Strength in the Fresh State                                                                                                                                   | A                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |              |                                                                                                                                                                                                                                                 | Granite                                                                                                                                                                       |
| Residual Soil         | VI           | Original rock texture completely destroyed<br>Can be crumbled by hand and finger pressure into constituent grains                                                                                                                               | Reddish brown<br>Feldspars completely destroyed<br>Quartz is only remaining primary mineral; usually dull, etched or pitted and reduced in size compared with fresh condition |
| Completely Decomposed | V            | Original rock texture preserved<br>Can be crumbled by hand and finger pressure into constituent grains<br>Easily indented by point of geological pick<br>Slakes when immersed in water<br>Completely discoloured compared with fresh rock       | Yellowish brown to reddish brown<br>Feldspars powdery to soft<br>Hand penetrometer shear strength index < 250 kPa<br>Zero rebound from N Schmidt hammer                       |
| Highly Decomposed     | IV           | Can be broken by hand into smaller pieces<br>Makes a dull sound when struck by geological hammer<br>Not easily indented by point of geological pick<br>Does not slake when immersed in water<br>Completely discoloured compared with fresh rock | Yellowish brown to yellowish orange/brown<br>Feldspars powdery<br>Hand penetrometer shear strength index > 250 kPa<br>Positive N Schmidt rebound value < 25                   |
| Moderately Decomposed | III          | Cannot usually be broken by hand; easily broken by geological hammer<br>Makes a dull or slight ringing sound when struck by geological hammer<br>Completely stained throughout                                                                  | Yellowish brown<br>Feldspars gritty<br>Biotite not shiny<br>N Schmidt rebound value 25-45                                                                                     |
| Slightly Decomposed   | II           | Not broken easily by geological hammer<br>Makes a ringing sound when struck by geological hammer<br>Fresh rock colours generally retained but stained near joint surfaces                                                                       | Feldspars hard to slightly gritty<br>Orthoclase feldspars often pink<br>Biotite slightly stained and dull around edges<br>N Schmidt rebound value > 45                        |
| Fresh                 | I            | Not broken easily by geological hammer<br>Makes a ringing sound when struck by geological hammer<br>No visible signs of decomposition (i.e. no discolouration)                                                                                  | Overall rock colour grey/white<br>Feldspars hard and shiny<br>Biotite shiny, not stained<br>Quartz colourless or grey, glassy                                                 |

GEOGUIDE 3

## GUIDE TO ROCK AND SOIL DESCRIPTIONS

GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE  
Civil Engineering Department  
The Government of the Hong Kong  
Special Administrative Region

Zone  
d'ancrage  
des pieux  
Grade II/III

# CODE OF PRACTICE FOR FOUNDATIONS



- Le Code of practice for Foundations donne pour chaque type de granite identifié (classe et description géologique) des valeurs forfaitaires de capacités portantes admissibles en pointe et en frottement.
- Ainsi, quelque soit la qualité des sols traversés en amont, aucun frottement positif ne peut être considéré dans le calcul de la capacité portante.

**Table 2.2 Presumed Allowable Bond or Friction Between Rock and Concrete for Piles**

| Category of rock<br>as defined in Table 2.1 | Presumed allowable bond or friction between rock<br>and concrete or grout for piles (kPa) |                         |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                             | Under compression or<br>transient tension                                                 | Under permanent tension |
| 1(c) or better                              | 700                                                                                       | 350                     |
| 1(d)                                        | 300                                                                                       | 150                     |

**Table 2.1 Presumed Allowable Vertical Bearing Pressure under Foundations on Horizontal Ground**

| Category | Description of rock or soil                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Presumed allowable<br>bearing pressure (kPa) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1(a)     | <i>Rock (granite and volcanic):</i><br>Fresh strong to very strong rock of material weathering grade I, with 100% total core recovery and no weathered joints, and minimum uniaxial compressive strength of rock material (UCS) not less than 75 MPa (equivalent point load index strength $PLI_{50}$ not less than 3 MPa) | 10,000                                       |
| 1(b)     | Fresh to slightly decomposed strong rock of material weathering grade II or better, with a total core recovery of more than 95% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material (UCS) not less than 50 MPa (equivalent point load index strength $PLI_{50}$ not less than 2 MPa)                   | 7,500                                        |
| 1(c)     | Slightly to moderately decomposed moderately strong rock of material weathering grade III or better, with a total core recovery of more than 85% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material (UCS) not less than 25 MPa (equivalent point load index strength $PLI_{50}$ not less than 1 MPa)  | 5,000                                        |
| 1(d)     | Moderately decomposed, moderately strong to moderately weak rock of material weathering grade better than IV, with a total core recovery of more than 50% of the grade                                                                                                                                                     | 3,000                                        |

**GEO PUBLICATION No. 1/2006**

Total Core Recovery is the percentage ratio of rock recovered (whether solid intact with no full diameter, or non-intact) to the length of 1.5 m core run and should be proved to a depth at least 5 m into the specified category of rock.





1(b) Fresh to slightly decomposed strong rock of material weathering grade II or better, with a total core recovery of more than 95% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material ( $\sigma_c$ ) not less than 50 MPa (equivalent point load index strength  $PLI_{50}$  not less than 2 MPa).

7,500



1(c) Slightly to moderately decomposed moderately strong rock of material weathering grade III or better, with a total core recovery of more than 85% of the grade and minimum uniaxial compressive strength of rock material ( $\sigma_c$ ) not less than 25 MPa (equivalent point load index strength  $PLI_{50}$  not less than 1 MPa).

5,000



# SYNTHESE GEOTECHNIQUE

- Pas de synthèse géotechnique globale produit par le groupement : BETP a missionné TERRASOL pour 3 viaducs (ML10-ML13-ML14)
  - Assistance géotechnique
  - Définition des paramètres géotechniques de calcul
  - Profils géotechniques pour chaque viaduc
  - Paramètres géotechniques dynamiques
- Synthèse géotechnique réalisée par TERRASOL sur la base de :
  - 23 BH + SPT - + 39 BH + SPT
  - 72 Vane shear tests ( MD#1 et MD#2)
  - 8 pressiometer tests (MD#2 – A1/A2- CDG)
  - 14 Cone penetration tests (MD#1 et MD#2 - A1/A2- CDG)
  - Bender element tests + Cyclic triaxial tests

# SYNTHESE GEOTECHNIQUE

- 2 campagnes géotechniques (GI) ont été réalisées.
- Elles consistaient essentiellement en la réalisation de forages destructifs, de carottages, d'essais pénétrométriques, de SPT et d'essais en laboratoire.
- Suite aux campagnes géotechniques, il a été dressé un modèle géotechnique pour les sols sus-jacents.

| Soil Type                                               | Nature     | Unit weight<br>$\gamma$ | Undrained shear strength<br>$c_u$ | Effective cohesion<br>$c'$ | Effective friction angle<br>$\phi'$ | Mean deformation modulus<br>$E_s$ | Poisson's ratio<br>$\nu$ |
|---------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
|                                                         |            | kN/m <sup>3</sup>       | kPa                               | kPa                        | [°]                                 | kPa                               | kPa                      |
| Fill                                                    | Frictional | 19                      | 0                                 | 0                          | 40                                  | 12000                             | 0.33                     |
| Marine Mud (Hang Hau Formation)                         | Cohesive   | 15                      | 2                                 | 1                          | 24                                  | 75 kPa<br>from -3 to -5 mPD       | 0.33                     |
| MD#1                                                    |            |                         |                                   |                            |                                     | -35z-100<br>below -5 mPD          |                          |
| Alluvium Clay/Silt<br>(Chek Lap Kok Formation)<br>A1/A2 | Cohesive   | 19                      | -z+30                             | 8                          | 26                                  | -145z+8950                        | 0.33                     |
| Alluvium Sand<br>(Chek Lap Kok Formation)<br>A3/A4      |            |                         |                                   |                            |                                     |                                   |                          |
| CDG Rock<br>(SPT N<200)                                 | Frictional | 19                      | -                                 | 0                          | 37                                  | -210z+19000                       | 0.33                     |
| M/SDG Rock<br>(SPT N > 200)                             | Frictional | 19                      | -                                 | 0                          | 39                                  | -250z+55000                       | 0.33                     |
|                                                         | Rock       | 25                      | $\sigma_c = 4 \text{ MPa}$        |                            |                                     | 15500*10 <sup>3</sup>             | 0.2                      |

**CDG : Completely Decomposed Granite**

**M/SDG : Moderately to Slightly Decomposed Granite**

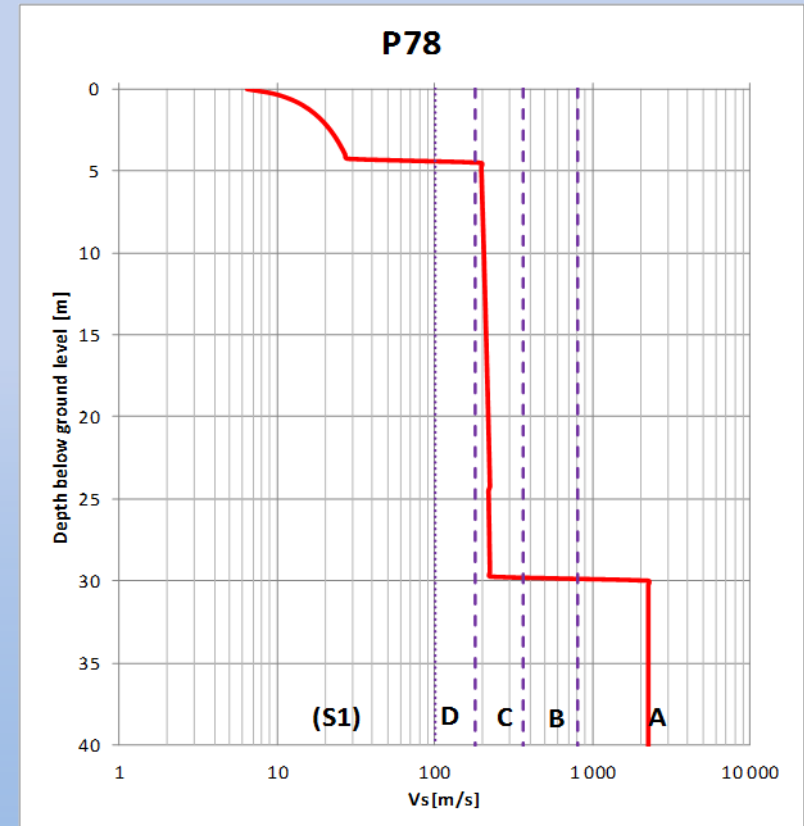
# SYNTHESE GEOTECHNIQUE

- Classe de sol

- Le profil de variation des ondes de cisaillement  $V_s$  est établi sur la base des essais SPT via la corrélation suivante :

$$v_s = C_1 \cdot N_{60}^{0.17} \cdot z^{0.2} \cdot F_1 \cdot F_2$$

- Dans le cas de la pile P78 (ML10), le site présentait une succession de sols de classe C ou D ( $V_s < 360$  m/s) sur plus de 20 m, assise sur le substratum ( $V_s > 800$  m/s).
- Sur la base de l'Eurocode 8, ce type de profil est qualifié de sol de classe E. Pour le projet, l'ensemble des piles se trouvaient dans cette configuration.



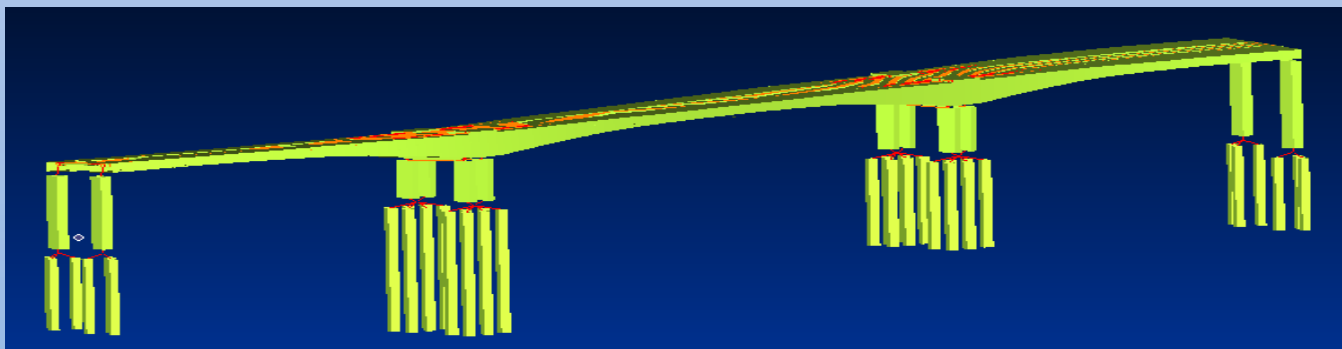


# JUSTIFICATION DES PIEUX

→ Vérification de la portance statique  
Comportement sous chargements horizontaux.

Pour cela, on :

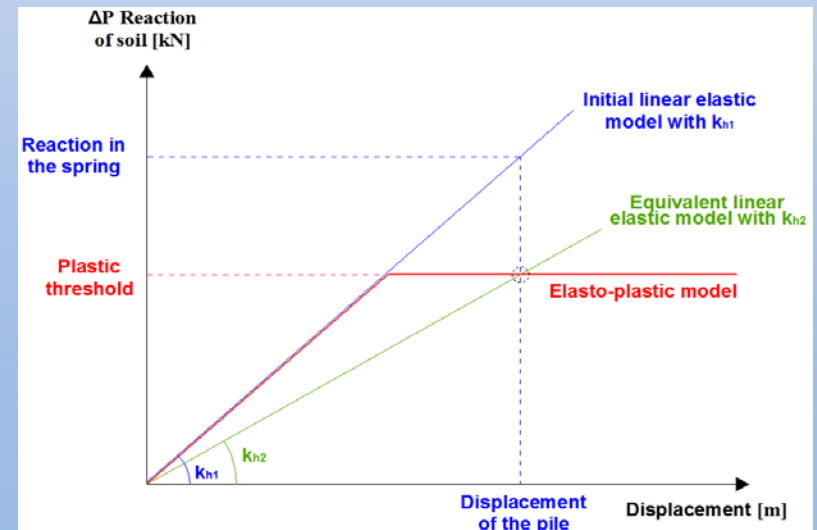
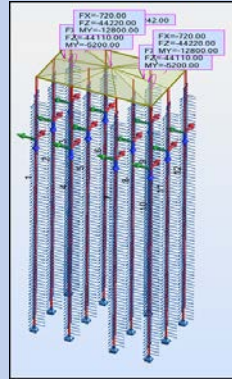
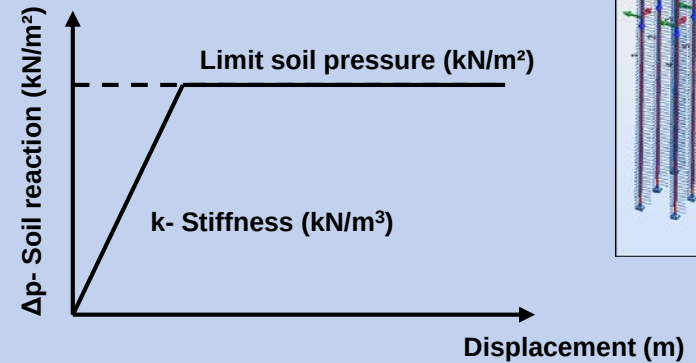
- modélise des ressorts le long des pieux
- estime le taux de plastification des ressorts
- récupère et combine les efforts en tête de pieux issus du modèle global (logiciel Pont)
- calcule la capacité portante des pieux (compression, traction, et étreinte latérale)



# JUSTIFICATION DES PIEUX

- Les pieux sont modélisés sur les logiciels PONT/ARC et SOFISTIK tels des éléments « poutre » maintenus latéralement et en pointe par des ressorts de sol.
- La succession des différentes couches de sol est donc simulée par une série de ressorts le long du pieu. Leur comportement théorique est élastique linéaire jusqu'à un palier parfaitement plastique. La formule de Vesic donne l'expression du module d'un ressort isolé.
- Lorsqu'un nombre suffisant de ressorts est plastifié, il est nécessaire d'estimer leur nouvelle raideur  $k_{h2}$  selon l'approche suivante:

$$k_{h2} < k_{h1}$$



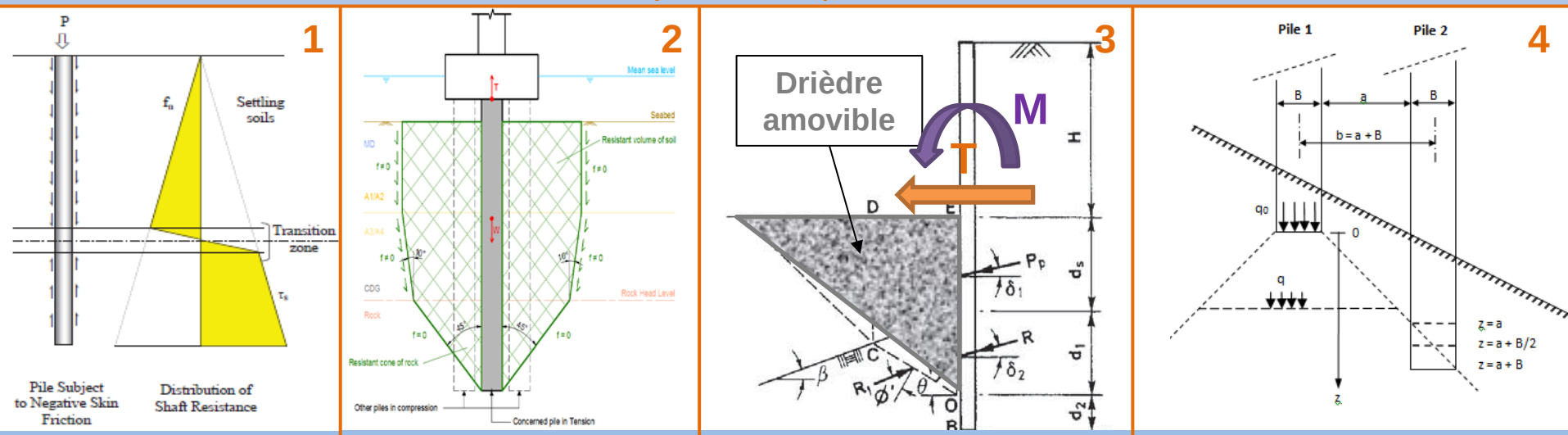
# JUSTIFICATION DES PIEUX

## Éléments pris en compte dans la justification des pieux :

1. Le frottement négatif dans les Marine Deposit #1
2. La résistance des cônes d'arrachement en tension dans le terrain mobilisé par frottement le long du fût
3. La vérification de la pression latérale appliquée aux pieux (notamment dans le cas d'un dièdre rocheux amovible)
4. La prise en compte des interactions entre pieux de bases différentes

CFMS journée technique 1 dec. 2016

15



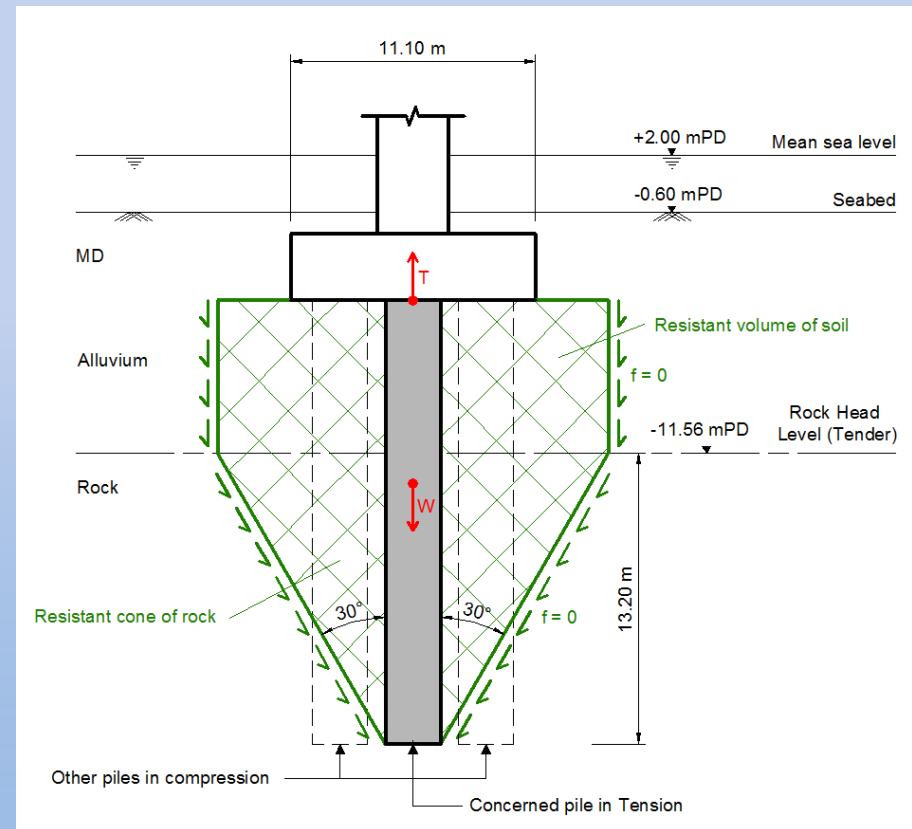
# JUSTIFICATION DES PIEUX

## Résistance à la traction (cône d'arrachement)

- Un effort de traction peut entraîner la rupture d'un prisme de terrain solidaire du pieu par frottement. Dans cette configuration, ce sont le poids du prisme ainsi que le frottement généré à l'interface prisme/rocher en place qui permettent la reprise de cet effort.
- Il est considéré un épanouissement de 30° (ULS) à 45° (SILS) dans le rocher depuis la base des pieux, et de 0° (ULS) à 10° (SILS) dans le CDG et les alluvions A3/A4.
- Le facteur de sécurité pour ce cas d'étude varie entre 1,0 (SILS) et 1,1 (ULS).

**ULS : Ultimate Limit State**

**SILS : Structural Integrity Limit State**

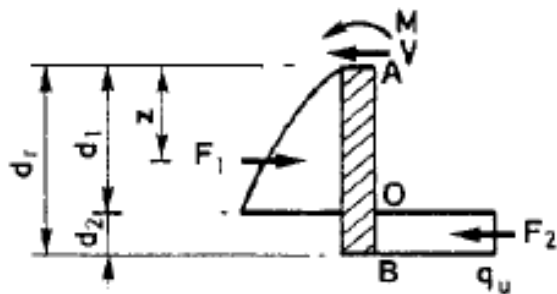




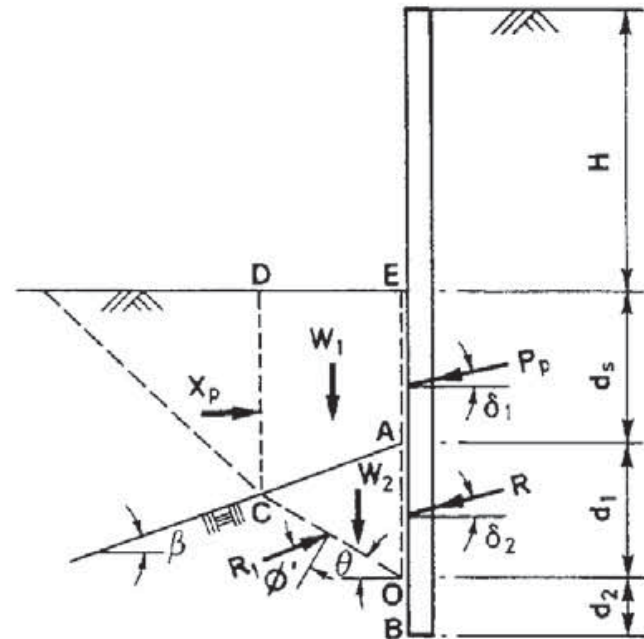
# JUSTIFICATION DES PIEUX

## Résistance aux efforts latéraux

- Il est supposé l'existence d'un plan de rupture préférentiel OC dans le rocher au droit de l'ancrage. Les efforts ( $V;M$ ) dans le pieu au toit du rocher (point A) sont susceptibles de mettre en mouvement le prisme rocheux ACO et les terrains sus-jacents ACDE, et ainsi déchausser le pieu.



(c) Forces Acting in Rock Socket

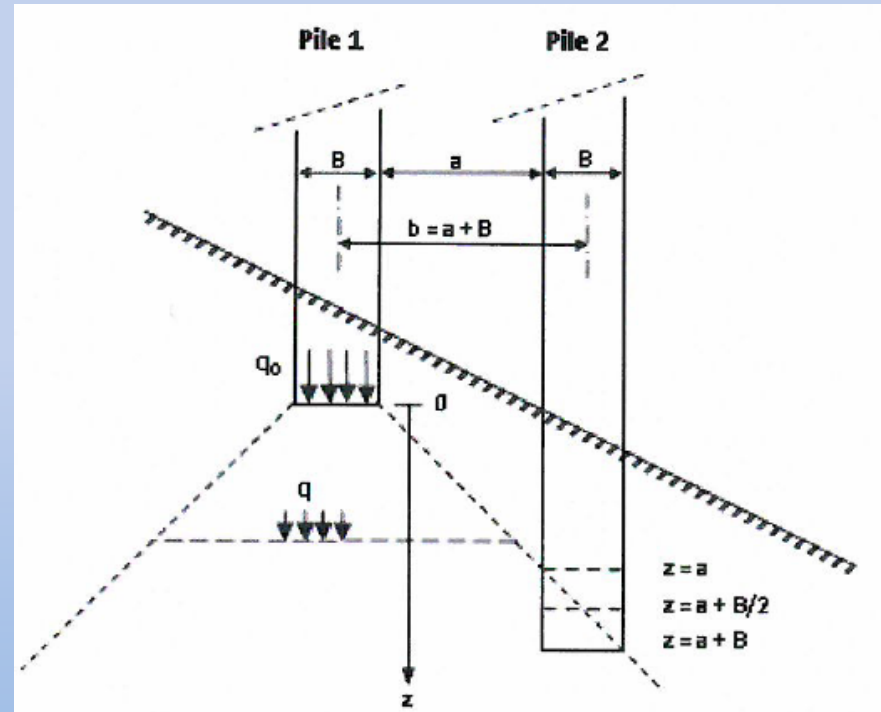


(a) Model for Calculating Rock Socket Capacity Against Planar Discontinuity-controlled Failure

# JUSTIFICATION DES PIEUX

## Capacité portante

- Une attention particulière a été apportée en cas de rechargement d'un pieu par un pieu voisin fondé dans un horizon moins profond.
- Le schéma ci-contre représente la problématique. La théorie de Boussinesq quant à la diffusion d'une charge dans le terrain a été employée et implique une représentation géométrique de chaque cas afin d'estimer la fraction de charge à ajouter au chargement initial du pieu.



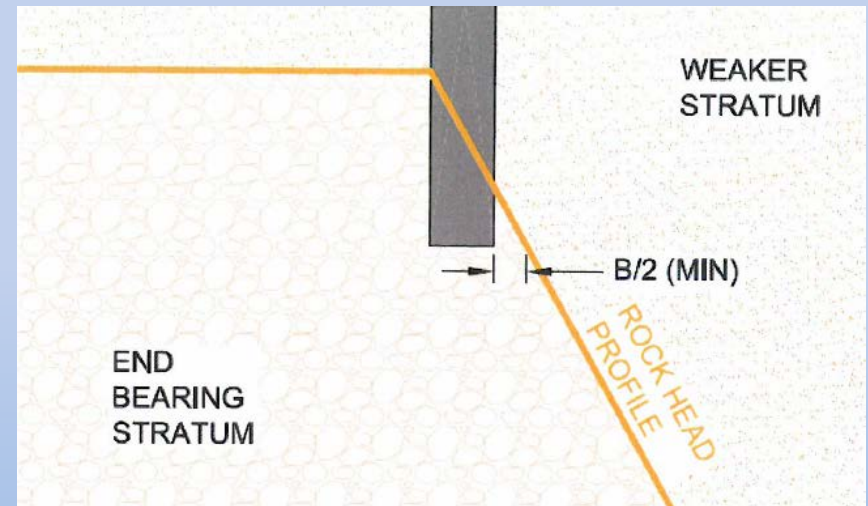
Interaction from the adjacent pile load distribution to pile P82-R4

| Overloading pile               | P82-R5 |     |
|--------------------------------|--------|-----|
| Pile diameter B                | 2.74   | m   |
| Pile clear distance a          | 3.20   | m   |
| Overloaded pile width          | 0.5    | m   |
| Rock category                  | 1.c    |     |
| Bearing pressure $q_0$         | 5000   | kPa |
| Vertical stress $q$            | 302.5  | kPa |
| Overload Q                     | 736.0  | kN  |
| Additional socket length $L_s$ | 0.122  | m   |

# JUSTIFICATION DES PIEUX

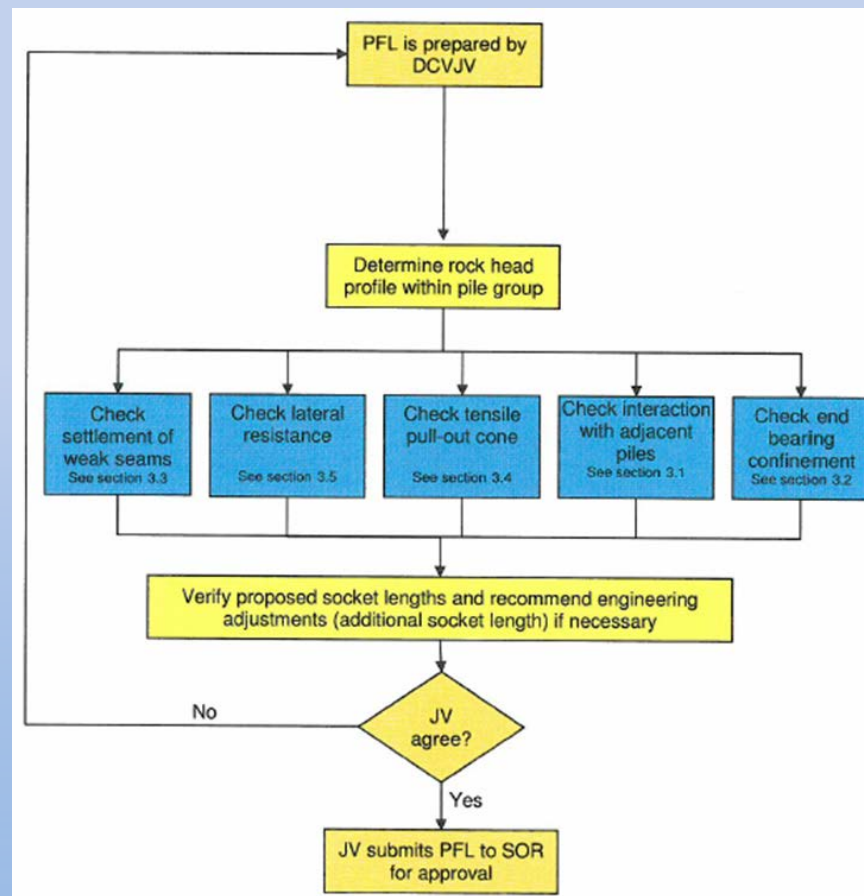
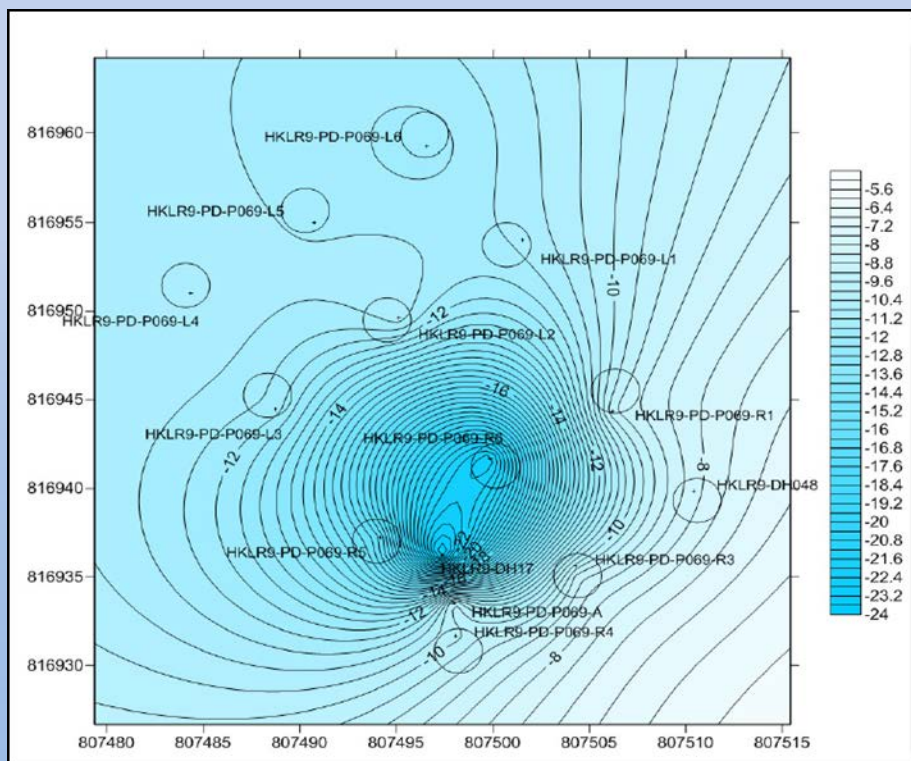
## Capacité portante

- Lorsque le pendage du toit du rocher est supérieur à  $45^\circ$ , un ancrage forfaitaire de 0,5 m supplémentaire est imposé dans le rocher.
- Par ailleurs, la base des pieux doit présenter une étreinte latérale dans le rocher d'un rayon minimal (  $B/2$  MIN)



# JUSTIFICATION DES PIEUX - PREFORAGES

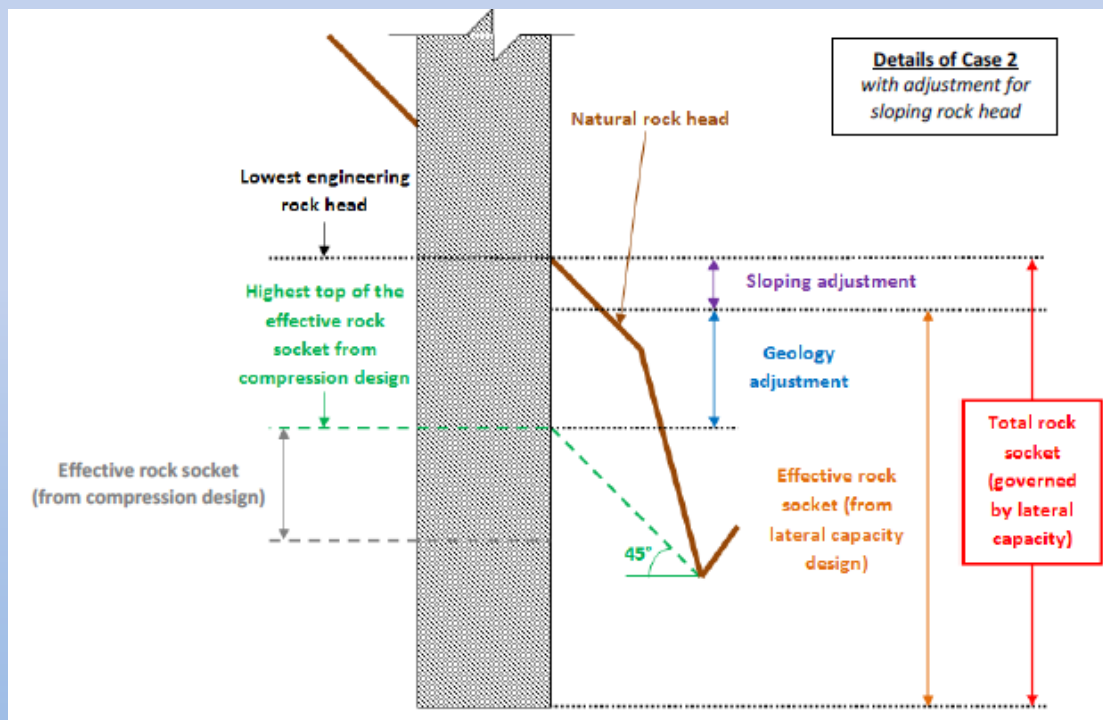
- Procédure pour le recalcul des pieux sur la base des résultats de préforages



# JUSTIFICATION DES PIEUX - PREFORAGES

## Procédure pour le recalcul des pieux sur la base des résultats de préforages

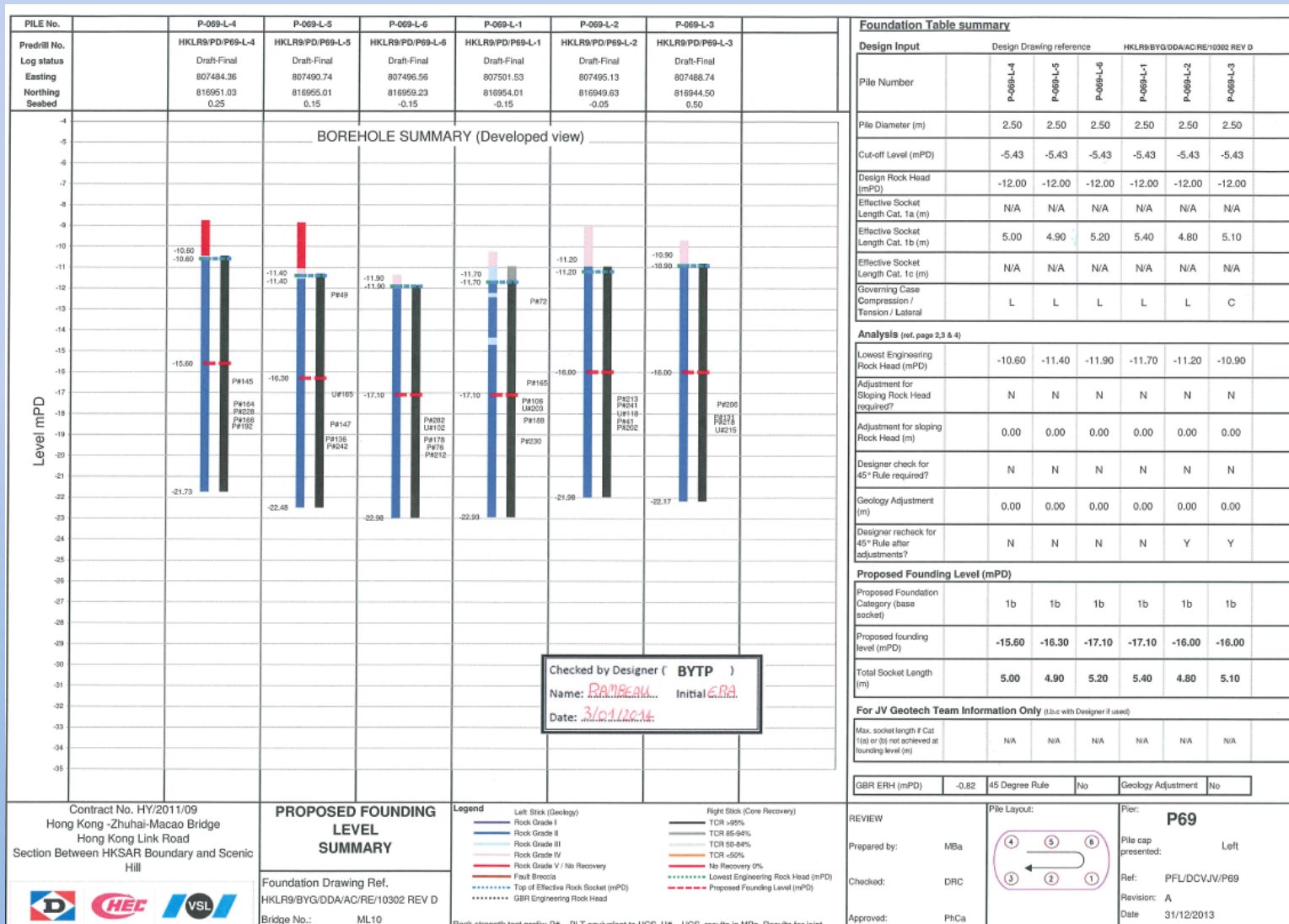
- Ce recalcul intègre la production d'une note de calcul justificative des ajustements dus aux préforages.
- Les ajustements visaient la prise en compte des pendages réels au droit du pieu ainsi que des variations géologiques et notamment l'influence des points bas du toit du rocher.





# JUSTIFICATION DES PIEUX - PREFORAGES

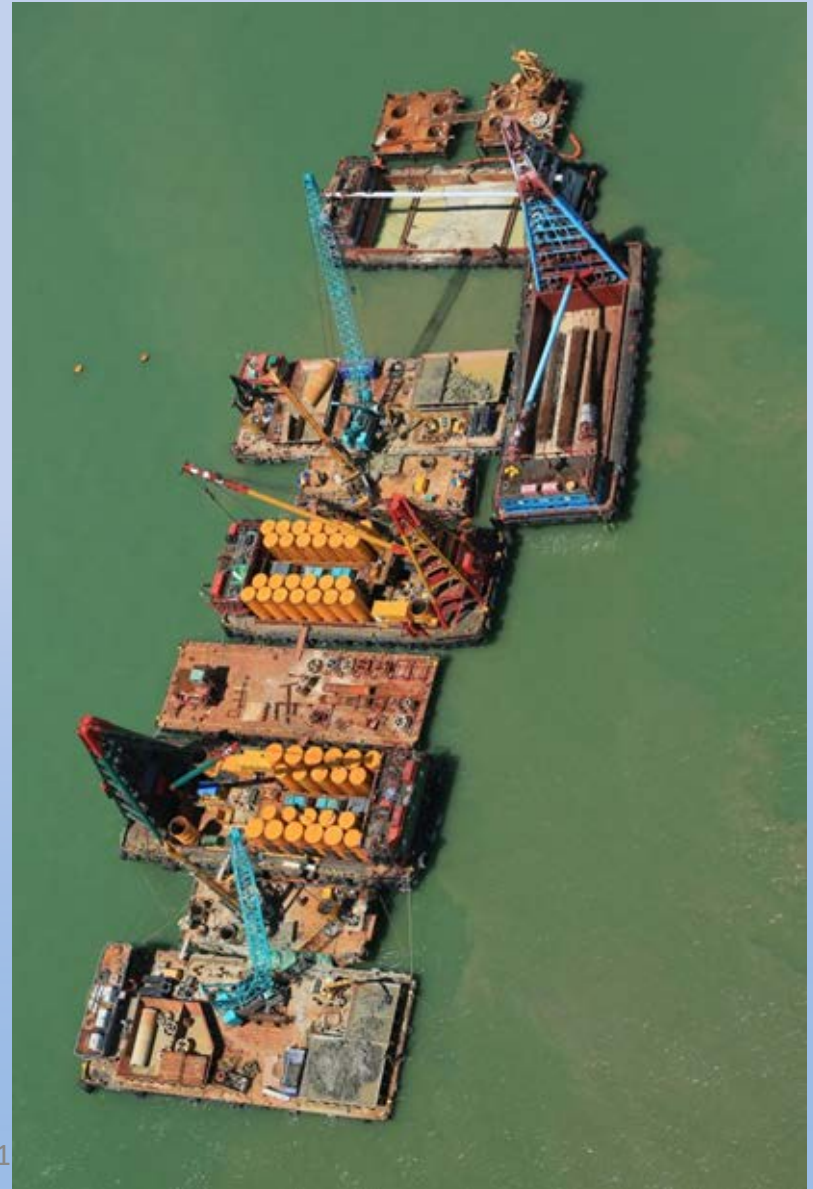
## Pile Founding Level (PFL) d'après les préforages - P69 L



# TRAVAUX DE PIEUX

## Pieux forés

- ❖ Pieux forés de gros diamètres travaillant essentiellement en pointe
- ❖ Pieux frottants à fût injecté dans le cas où rocher > -140mPD (ML1&ML3)
- ❖ Dia. 2.5m, 2.8m and 3,0m
- ❖ Profondeur de 7m à > 100m
- ❖ Pieux à terre - RCD methode
- ❖ Pieux en marine - RCD et Kelly methode



# TRAVAUX DE PIEUX

## Pieux Kelly (Marine)

- ❖ Casing au travers des Marine Deposit (<40m)
- ❖ Forés boue au-delà du casing
- ❖ Excavation au bucket monté à la base du Kelly télescopique
- ❖ 229 Pieux
- ❖ Le plus profond -107mPD, moy. -70mPD



HKLR 09



# TRAVAUX DE PIEUX

## RCD Methode (Marine)

- ❖ Casing permanent jusqu'au toit du rocher
- ❖ 397 pieux
- ❖ Le plus profond -91mPD
- ❖ Moyenne -48mPD



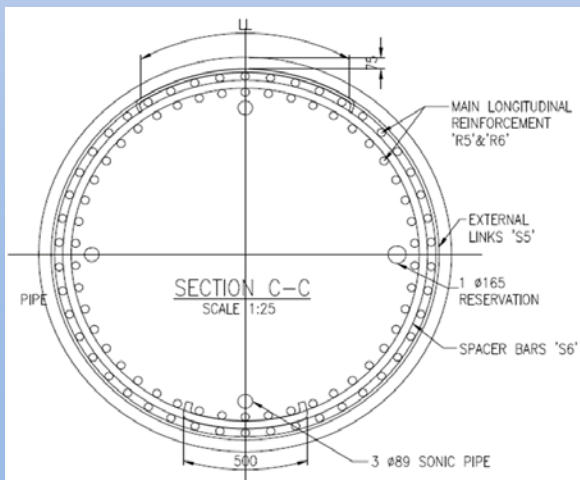
HKLR 09

# TRAVAUX DE PIEUX

## Bétonnage & Ferrailage

- ❖  $80\text{m}^3$  à  $400\text{m}^3$  par pieu
- ❖ Camions toupie sur des Ro-Ro Barges
- ❖ Centrale à béton sur barge

2 lits de 46T50







**Merci de  
votre  
attention**