



Association régie par la loi  
du 1.07.1901

---

Comité Français de Mécanique des Sols  
et de Géotechnique

---

le cnam  
école sciences industrielles &  
technologies de l'information



# Application de la technique d'instrumentation de battage aux travaux offshore

Stanislas Po  
FUGRO GEOCONSULTING FRANCE

CFMS - Journée Technique du 26 Mars 2014  
« Battage et vibrofonçage »



# SOMMAIRE

---

## 1. TRAVAUX OFFSHORE

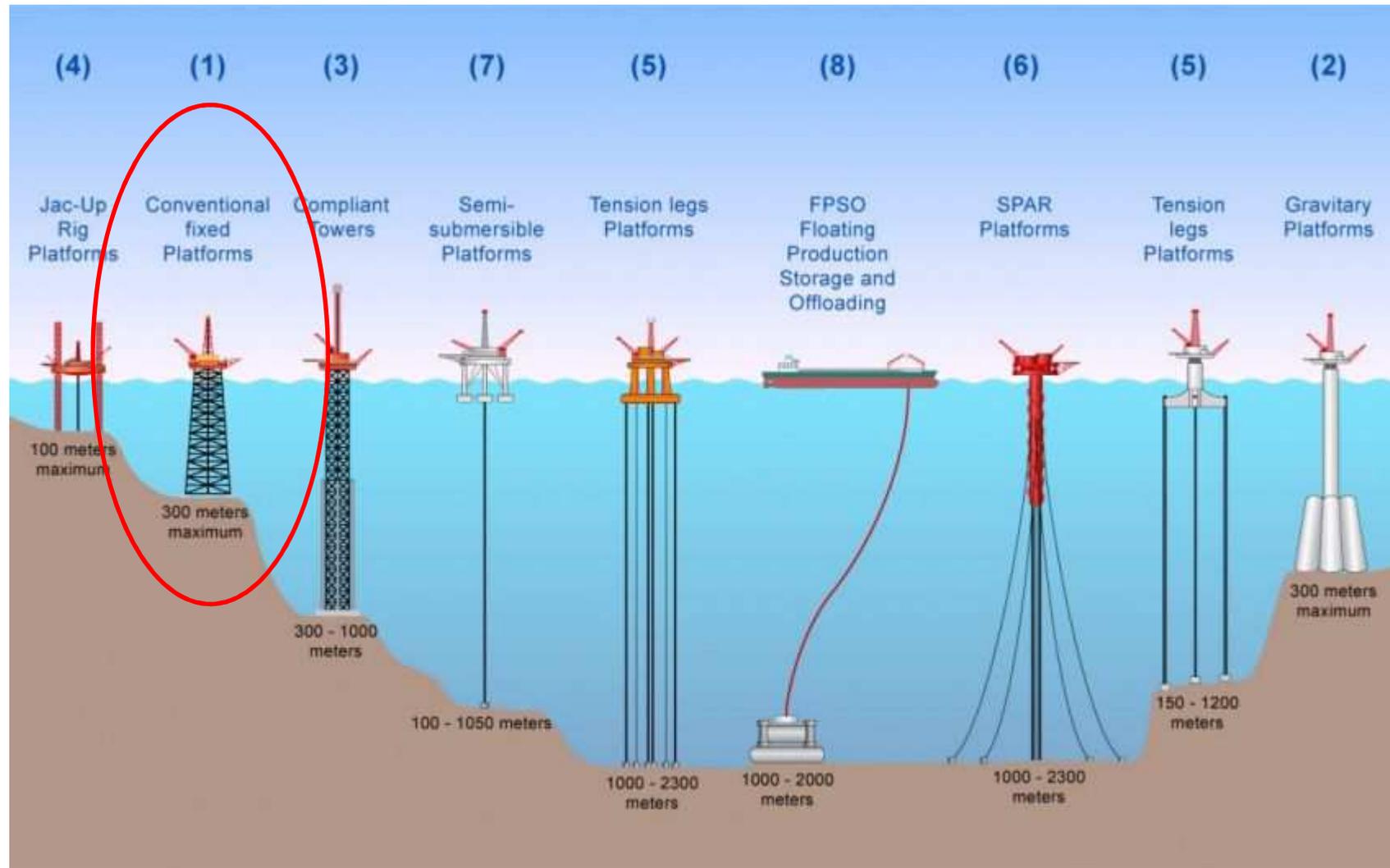
- Introduction
- Construction and installation
- Spécificité et contraintes

## 2. PHASES DE PROJET D'INSTRUMENTATION DE BATTAGE

- Etudes préliminaires
- Acquisition des données
- Interprétation et analyses
- Réévaluation des paramètres de sol

## 3. CONCLUSIONS

# STRUCTURES OFFSHORE



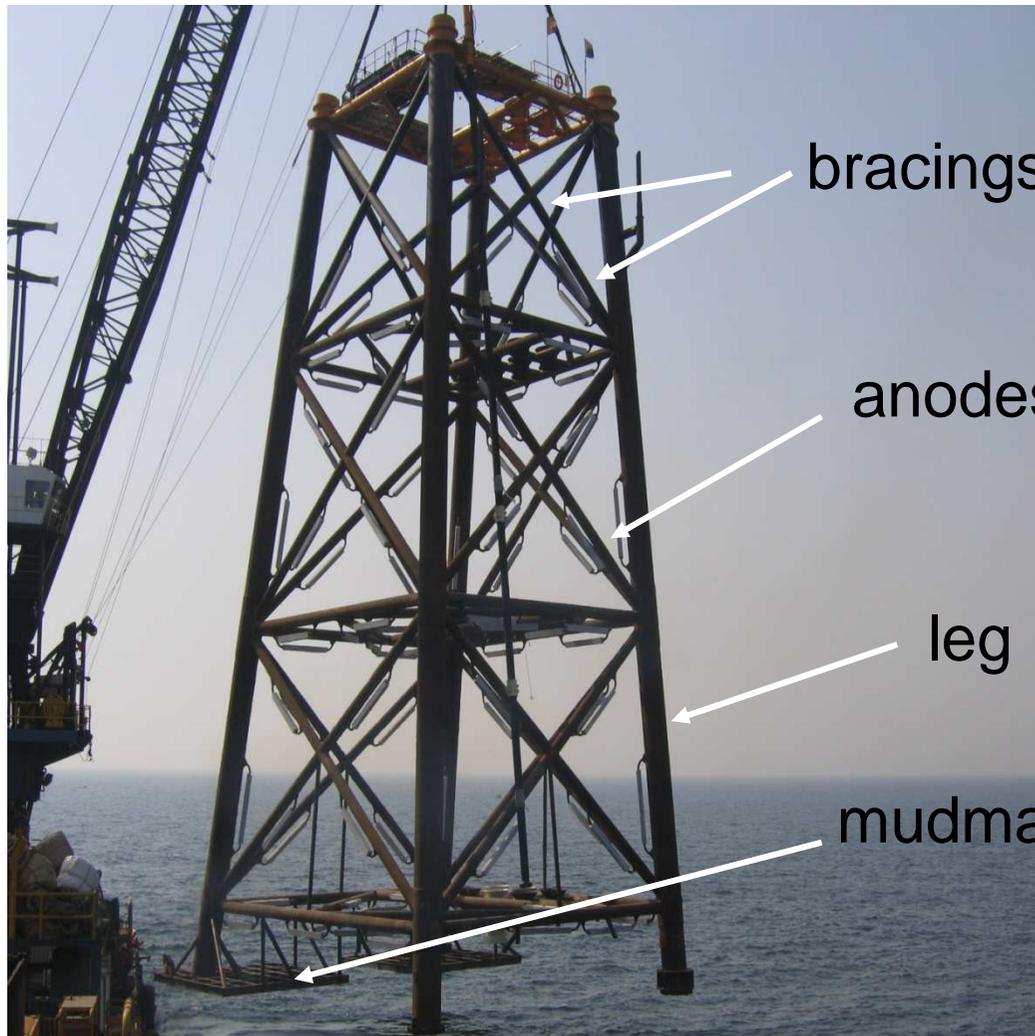
# STRUCTURES OFFSHORE - Jackets



- Plus de 10 000 plateformes dans le monde
- Profondeur d'eau jusqu'à 350m



# STRUCTURES OFFSHORE - Jackets

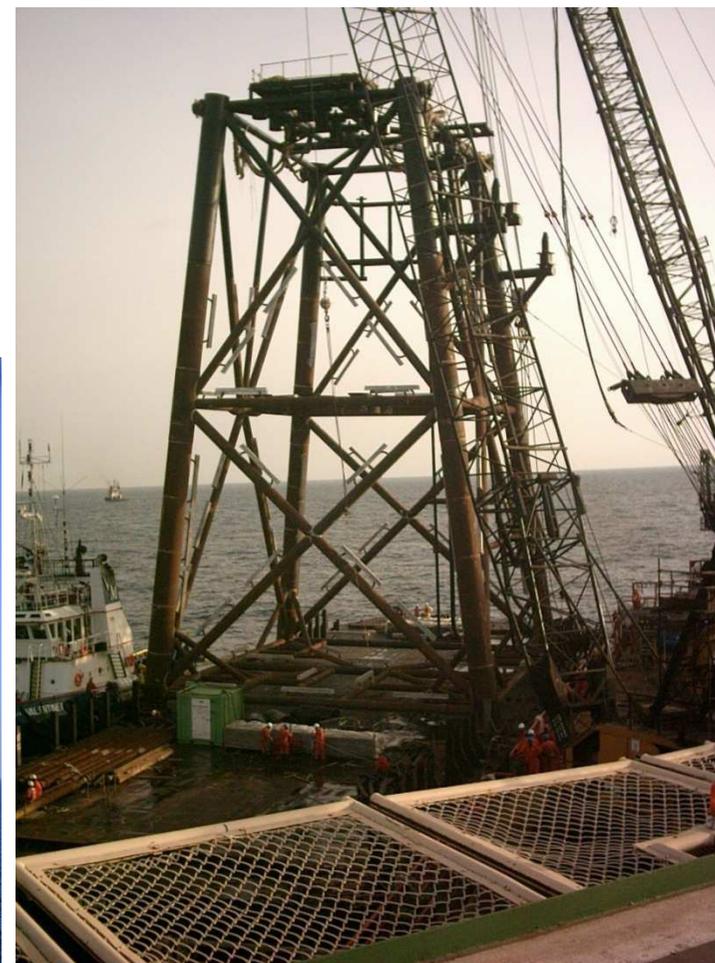


- structure métallique
- quelques centaines à plusieurs milliers de tonnes



# JACKET PLATFORMS – GENERAL

- Transport par cargo barge



# JACKET PLATFORMS – GENERAL

- Enormes moyens de levage pour les structures de Mer du Nord



# JACKET PLATFORMS – GENERAL



Pieux sur une cargo barge

## PIEUX

- pieux métalliques ouverts
- diamètre ed: 30 to 108 inches (0.76 to 2.74m)
- épaisseur de 20mm à 75mm
- installation par battage
- marteaux: diesel, vapeur, hydraulique (jusqu'à 4000kJ)
- pieux forés cimentés sont rares

# JACKET PLATFORMS – GENERAL



Menck MRBS 3900 – mouton de 40t

## Marteaux vapeur



# JACKET PLATFORMS – GENERAL

## Marteaux hydrauliques



# JACKET PLATFORMS – GENERAL



- Mise en place des pieux

# JACKET PLATFORMS – GENERAL

- Battage des pieux



# JACKET PLATFORMS – GENERAL

- Module « topside »



# JACKET PLATFORMS – GENERAL



Installation de module



# TRAVAUX OFFSHORE

## SPECIFICITES ET CONTRAINTES

- Moyens humains et matériel importants



= coûts journaliers importants - 200 k€ à 4M€

= contentieux éventuels importants

# TRAVAUX OFFSHORE

Exemple contentieux : refus prématuré des pieux



+ 2 jackets en attente pendant 4 mois = retard de production

Apparition de l'instrumentation de battage pour les travaux offshore

■ Objectifs:

- (i) Contrôle du battage (efficacité marteau, fonctionnement du marteau,...). Réduire les contentieux installateurs / Compagnie
- (ii) Eviter l'endommagement du pieu lors de battage difficile (bancs indurés, gypse,...)



# SOMMAIRE

---

## 1. TRAVAUX OFFSHORE

- Introduction
- Construction and installation
- Spécificité et contraintes

## 2. PHASES DE PROJET D'INSTRUMENTATION DE BATTAGE

- Etudes préliminaires
- Acquisition des données
- Interprétation et analyses
- Réévaluation des paramètres de sol

## 3. CONCLUSIONS

## ETUDES PRELIMINAIRES - FAISABILITE

---

### Analyses de battage réalisées avant les opérations:

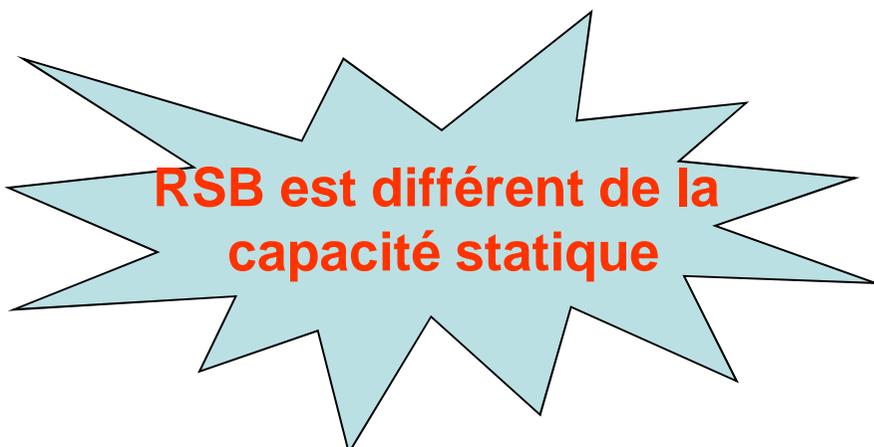
- Evaluation de la résistance au battage en fonction de la profondeur
- Evaluation des pénétrations sous poids propre et des risques de chute libre des pieux
- Sélection / validation du choix des marteaux en réalisant des simulations de battage (logiciel WEAP ®)
- Etudes paramétriques pour déterminer les facteurs d'amplification de contrainte le long du pieu liés aux variations de section du pieu
- Vérification que les longueurs libres de pieu sont compatibles avec les marteaux et la géométrie des pieux (risque de flambage)
- Recommandation sur les énergies maximales de battage pour ne pas endommager le pieu

# ETUDE DE PRELIMINAIRES

## Résistance du Sol au Battage (RSB)

Le battage génère:

- Des grands déplacements
- Des surpressions interstitielles
- Un remaniement du sol



**RSB est différent de la  
capacité statique**

## Règles de l'art



Plusieurs méthodes mais pas de standards applicables dans tous les cas

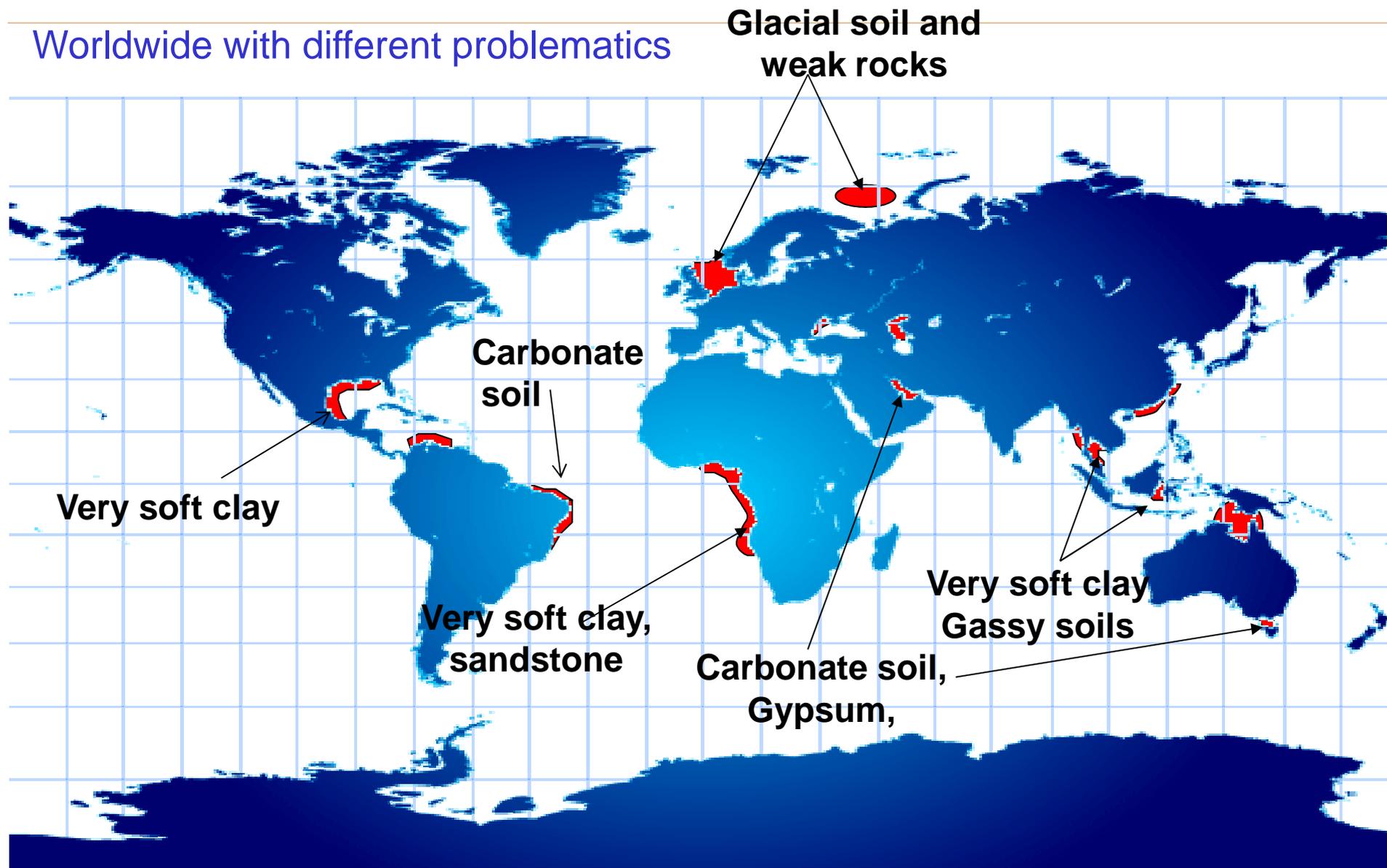
Choix des méthodes basé sur l'expertise

Information et expérience sur installations précédentes primordiales

Problématiques différentes suivant les régions

# ETUDE DE PRELIMINAIRES

Worldwide with different problematics



# Resistance du Sol au Battage (RSB)

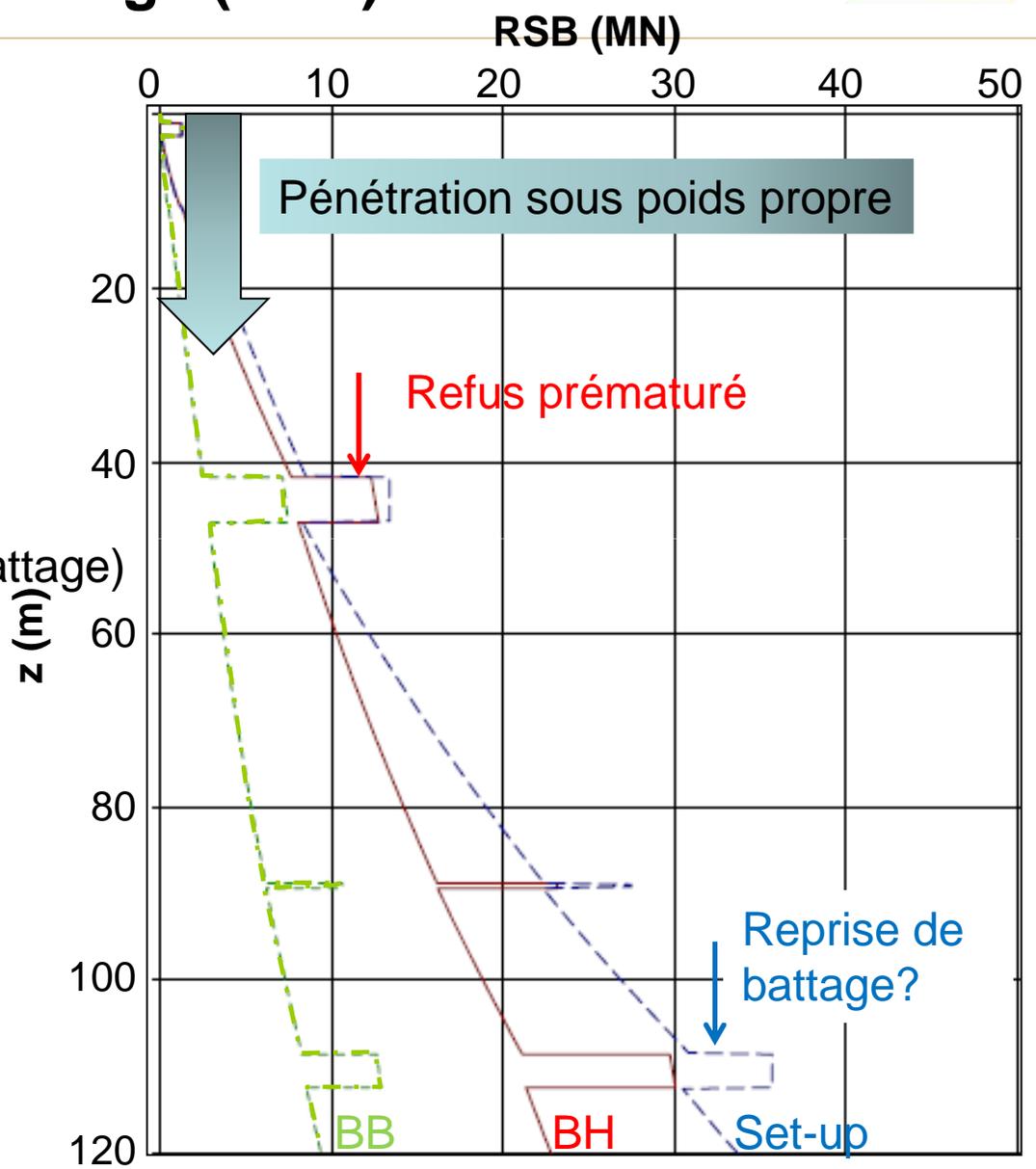
## Approche

Borne Basse RSB  
(Min. RSB en battage continu)

Borne Haute RSB  
(Max. RSB en battage continu)

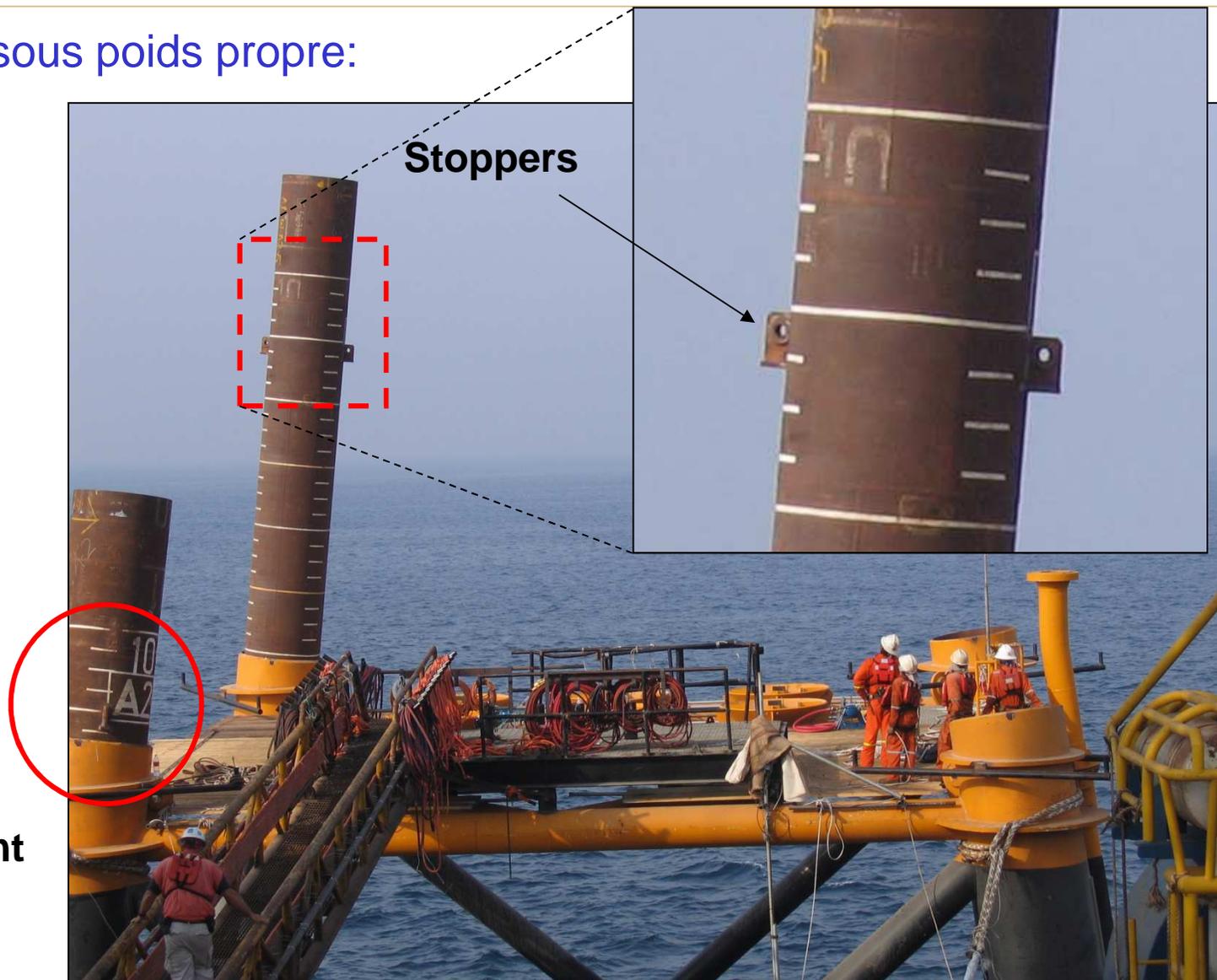
Courbe de set-up – cicatrisation  
(Max. RSB après interruption de battage)

## Détermination des cas critiques



# ETUDE DE PRELIMINAIRES

Pénétration sous poids propre:

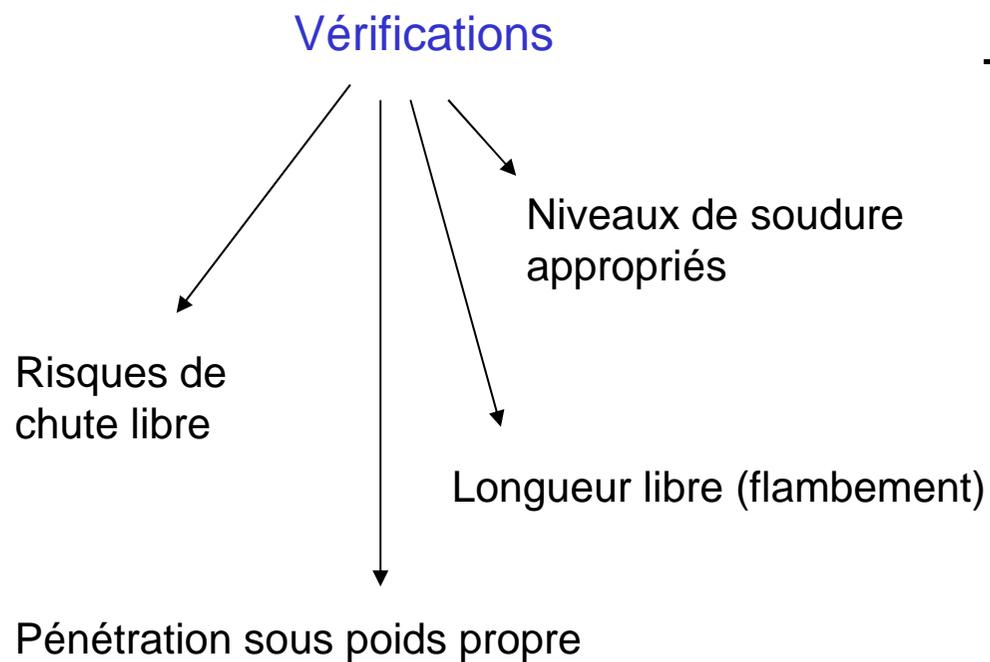


# ETUDE DE PRELIMINAIRES

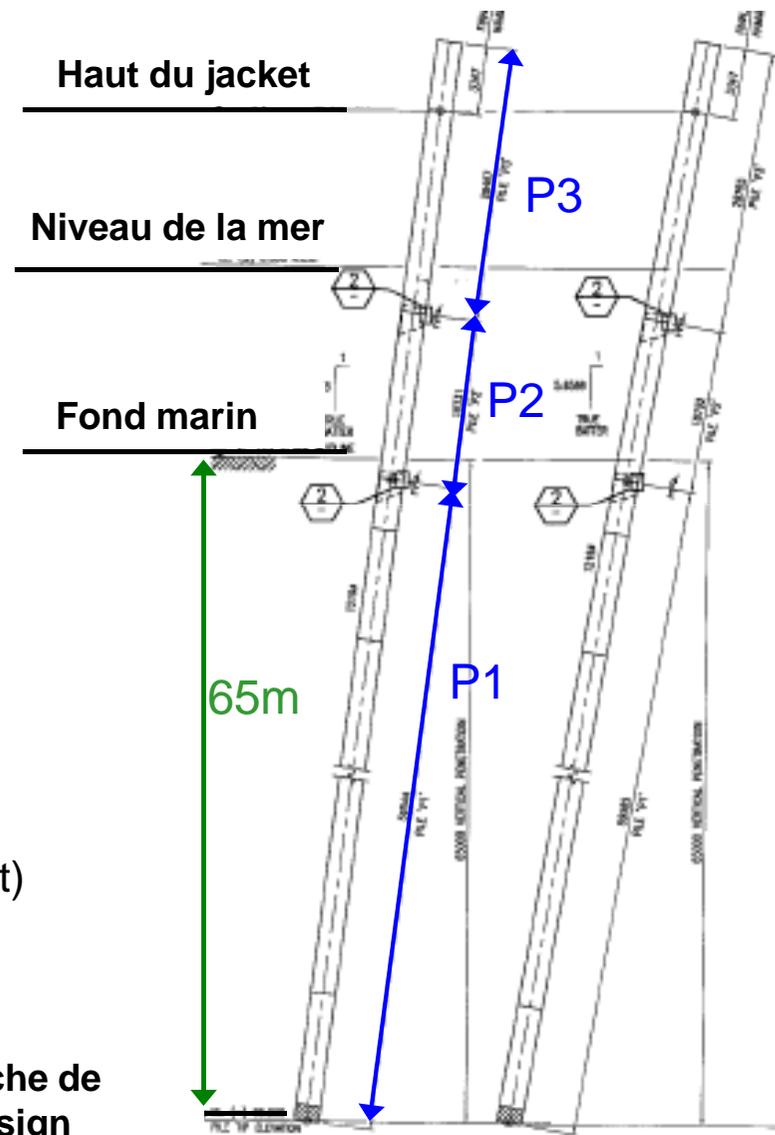


# ETUDE DE BATTAGE

Pour des raisons de contraintes d'installation les pieux sont généralement en plusieurs sections



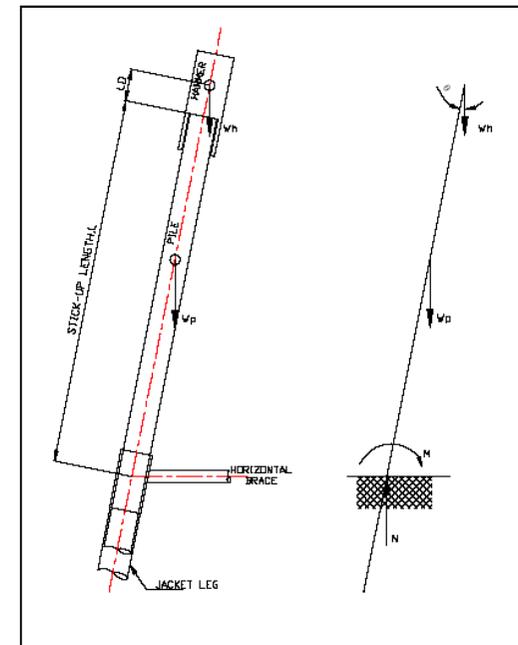
Fiche de design



# ETUDE DE BATTAGE

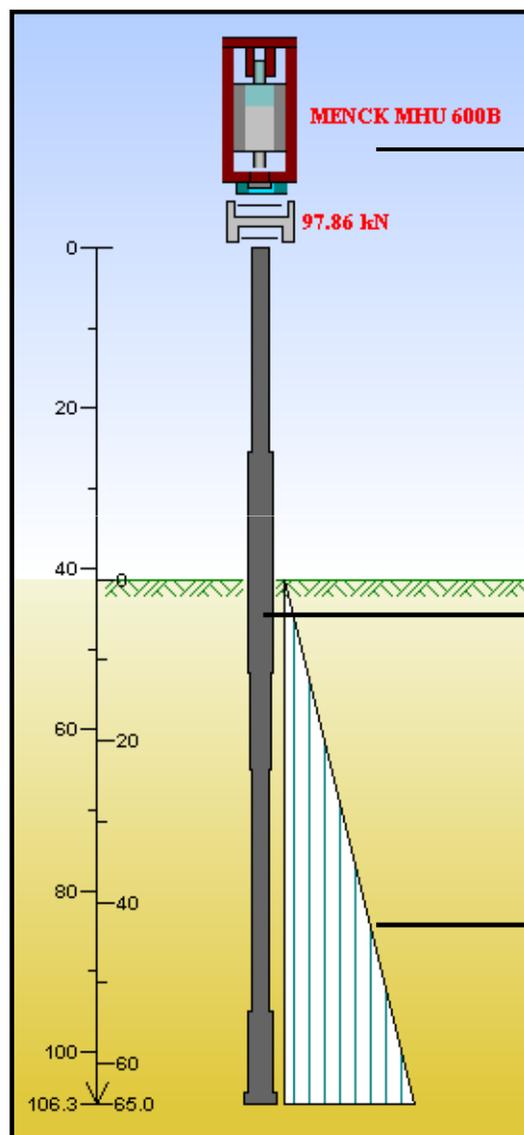
Longueur libre:

= risque de flambement



# ETUDE DE BATTAGE

## Modélisation des équations d'ondes



### Élément de battage

- mouton + enclume
- coussin (marteau vapeur et diesel)
- casque de battage
- efficacité

### Pieu

#### Section et longueur

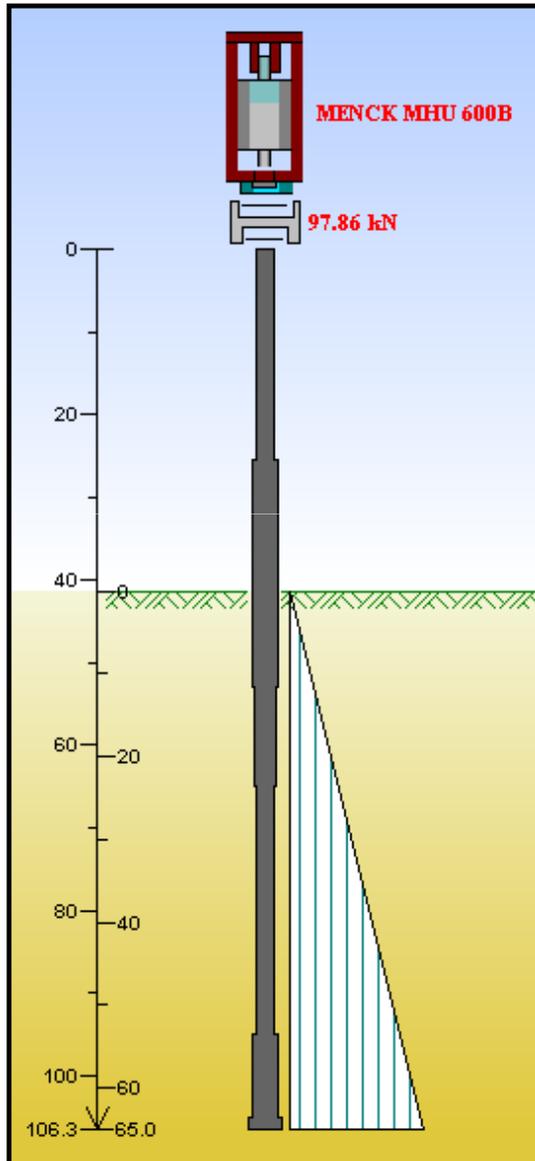
Module élastique  
densité

### Sol

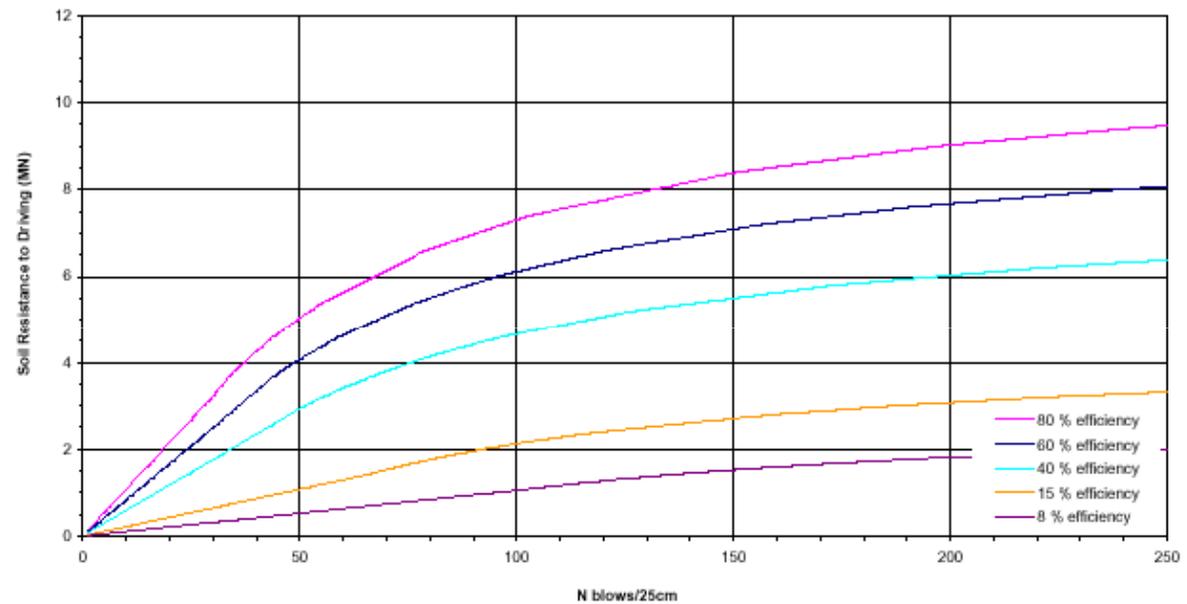
Ratio résistance de pointe / résistance frottante  
Distribution du frottement  
Coefficients dynamiques

Logiciel GRLWeap

# ETUDE DE BATTAGE



## Courbes Nb de coups / RSB / efficacité marteau



Hammer : IHC-S90 Hydraulic hammer  
 Pile length : 67 m (P1+P2+P3+P4)  
 Penetration : 20 m  
 Tip resistance ratio : 56 %

Maximum dynamic compressive stress :

185 MPa for 80% efficiency  
 160 MPa for 60% efficiency  
 129 MPa for 40% efficiency  
 77 MPa for 15% efficiency

### WAVE EQUATION ANALYSES

## Vérifications des contraintes maximales admissibles

# ETUDE DE BATTAGE

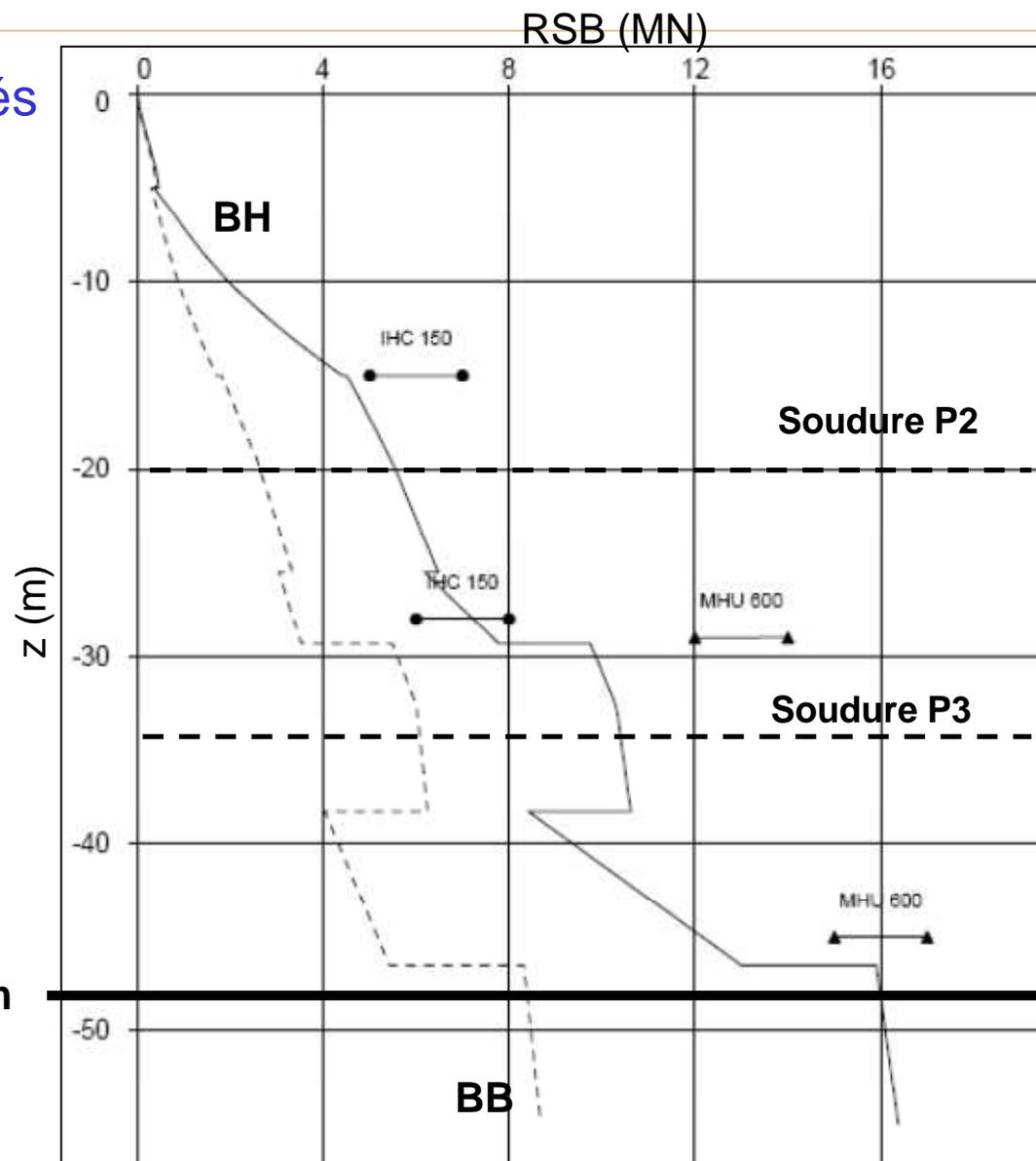
Validation des marteaux proposés  
et des séquences de battage

IHC 150 peut être utilisé jusqu'à 35m  
Risque de refus au-delà

MHU 600 peut être utilisé jusqu'à la  
fiche projet

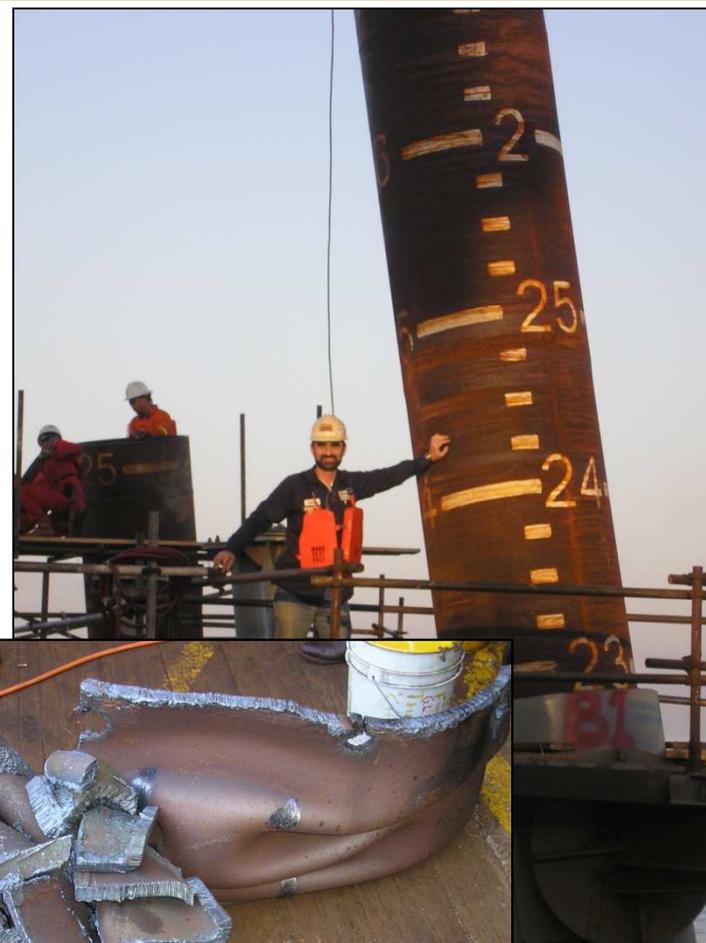
Fiche projet: 48m

marteau (80% efficiency)



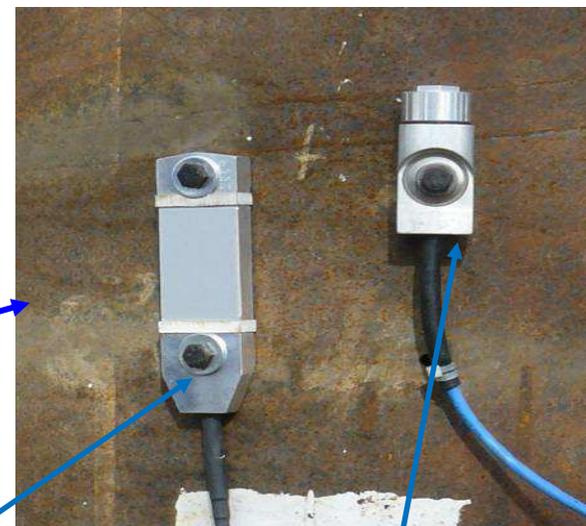
# ETUDE DE BATTAGE

Dépassement contraintes admissible



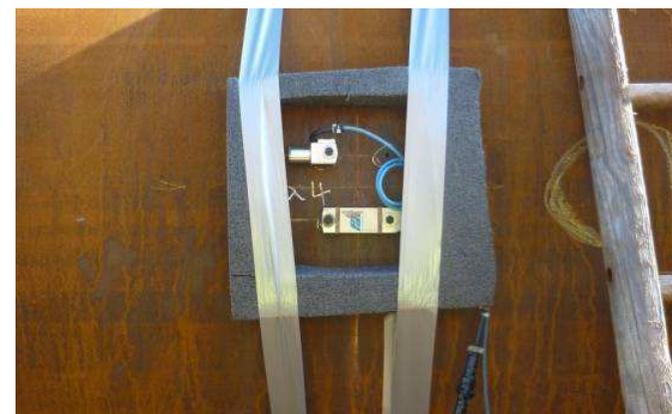
# INSTRUMENTATION DE BATTAGE

## Capteurs



Jauge de contrainte

Accéléromètre



2 paires de capteurs diamétralement opposées

# INSTRUMENTATION DE BATTAGE

## Système d'acquisition



**PDI PAX**



Les 4 capteurs sont connectés au système d'acquisition par un câble unique

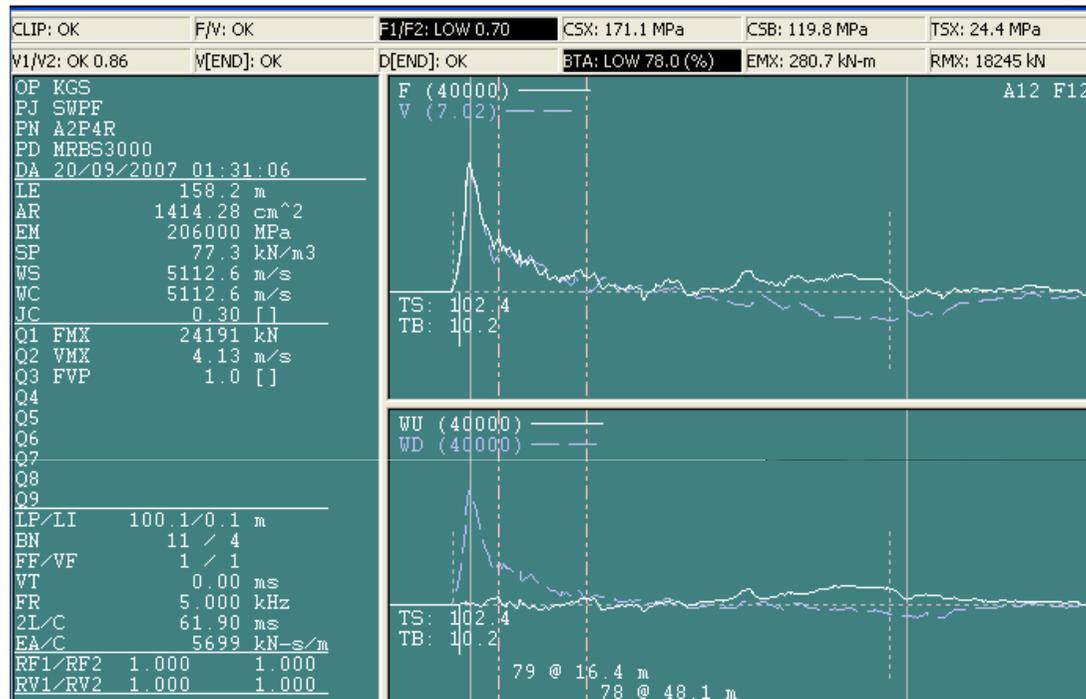
# INSTRUMENTATION DE BATTAGE



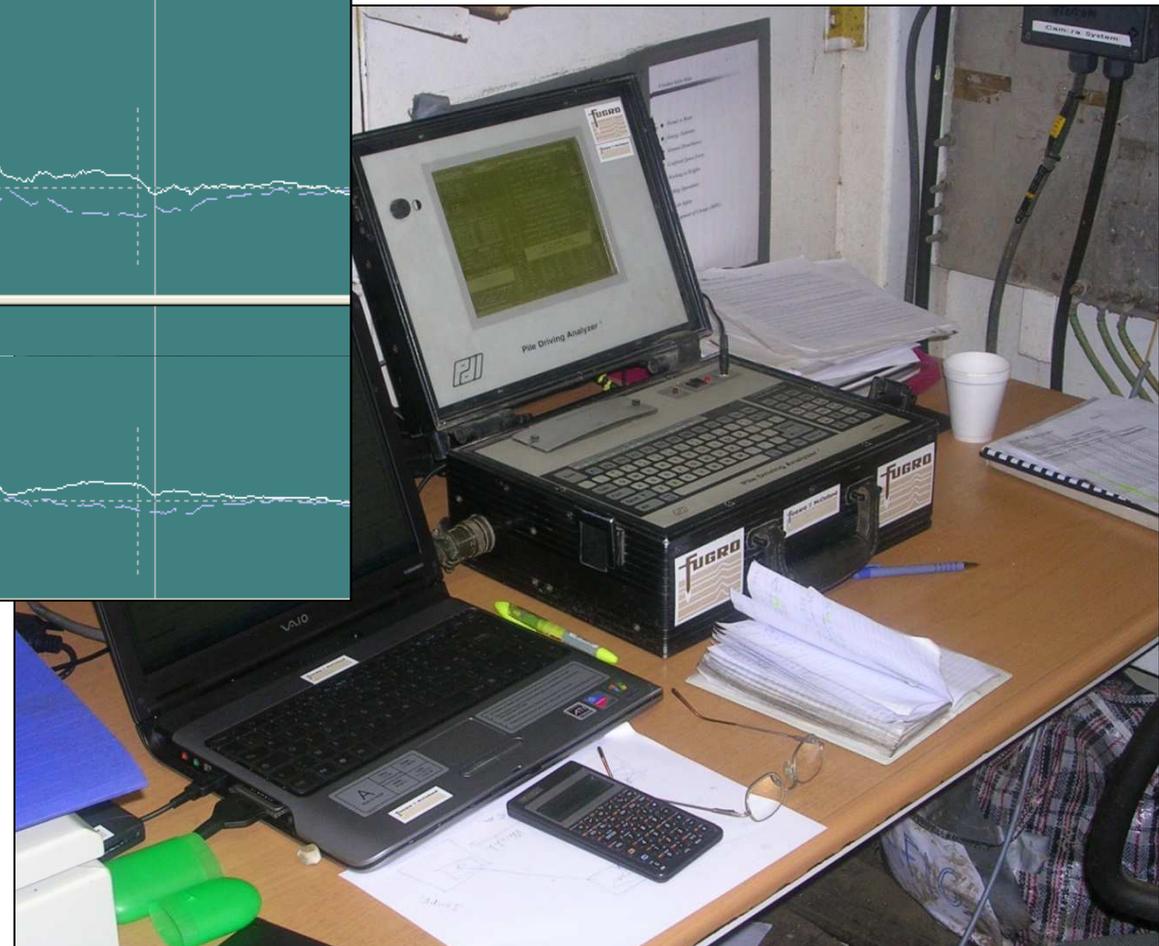
- Equipe de 2 à 4 personnes
- Travail en 24/24h
- Ingénieurs et techniciens



# INSTRUMENTATION DE BATTAGE



## Système d'acquisition

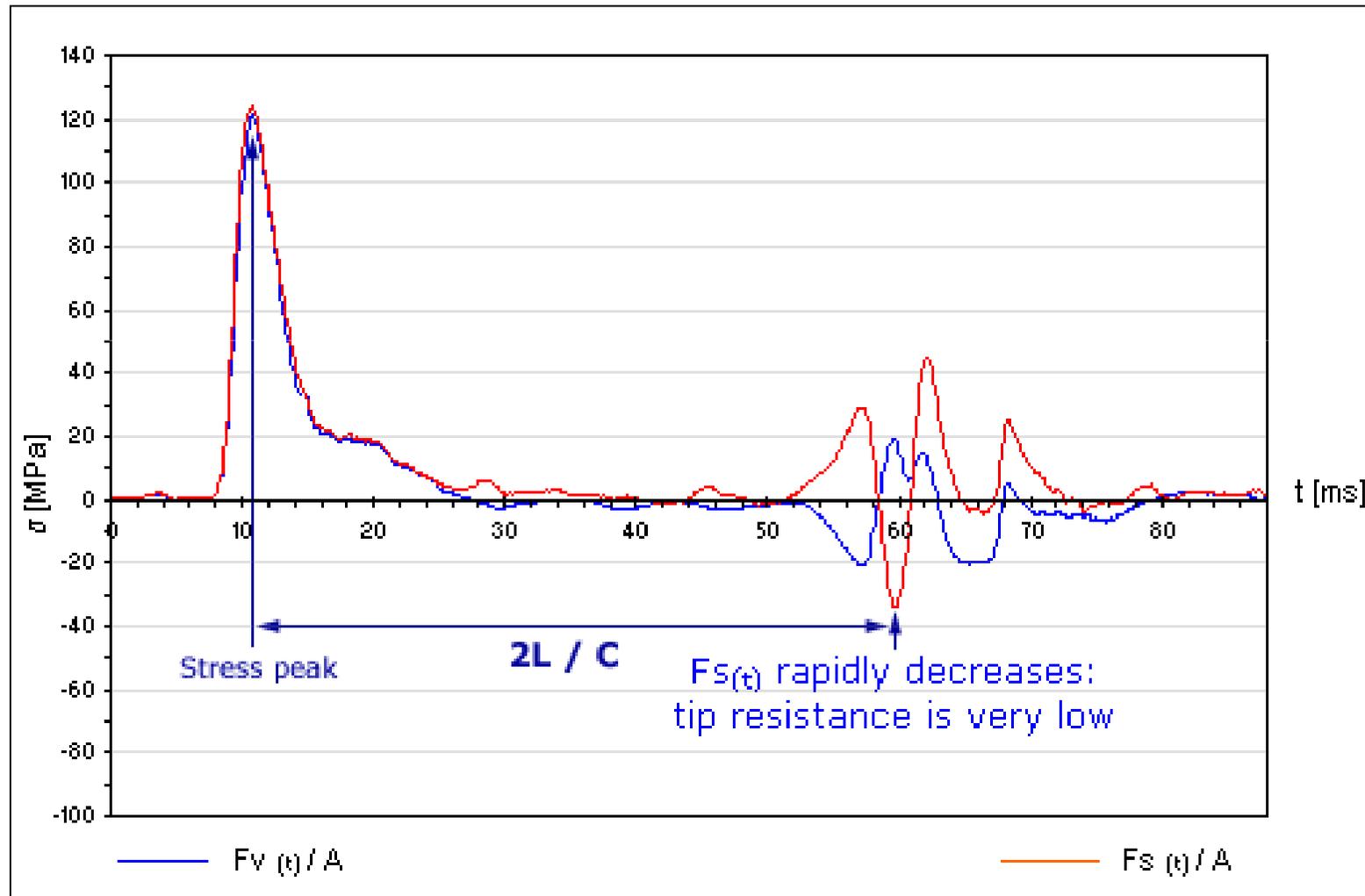


Enregistrement en temps réel:

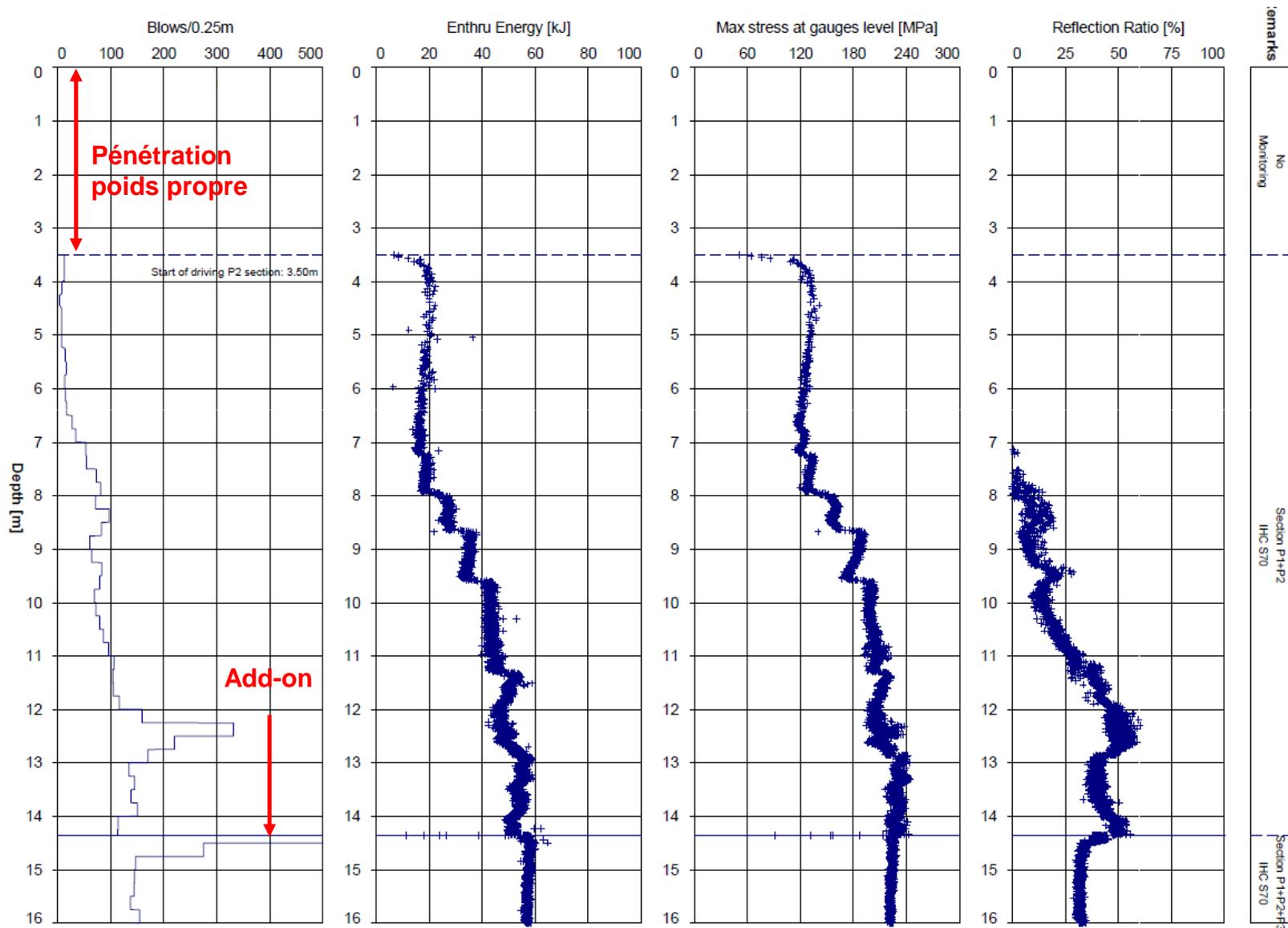
- Nb de coups
- Energie marteau
- Contrainte dans le pieu
- Retour de pointe
- ....

# INSTRUMENTATION DE BATTAGE

## Signaux représentatifs

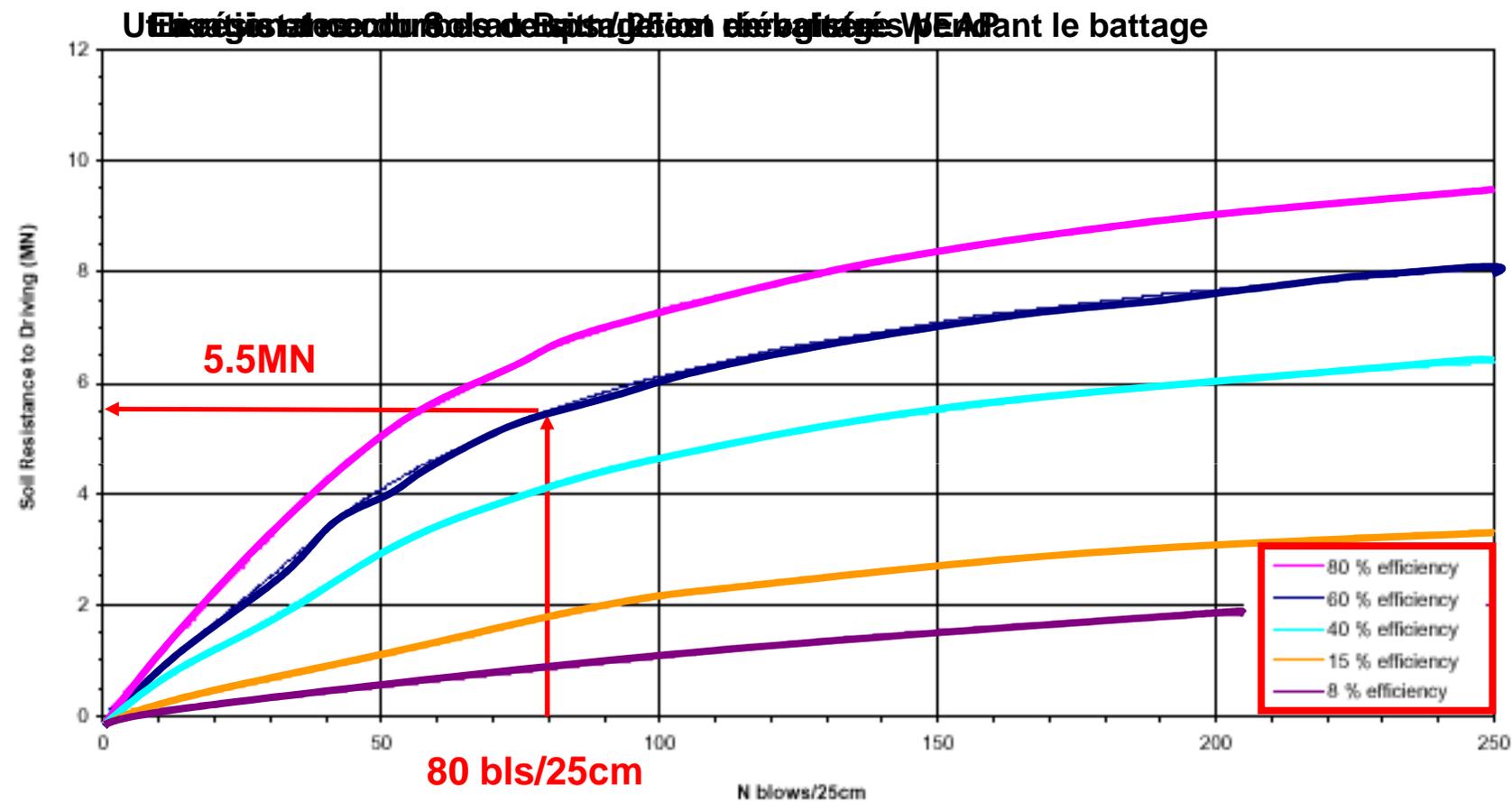


# RESULTATS D'INSTRUMENTATION



Remarks
No Monitoring
Section P1+P2 IHC S70
Section P1+P2+P3 IHC S70

# RESULTATS D'INSTRUMENTATION



Hammer : IHC-S90 Hydraulic hammer  
 Pile length : 67 m (P1+P2+P3+P4)  
 Penetration : 20 m  
 Tip resistance ratio : 56 %

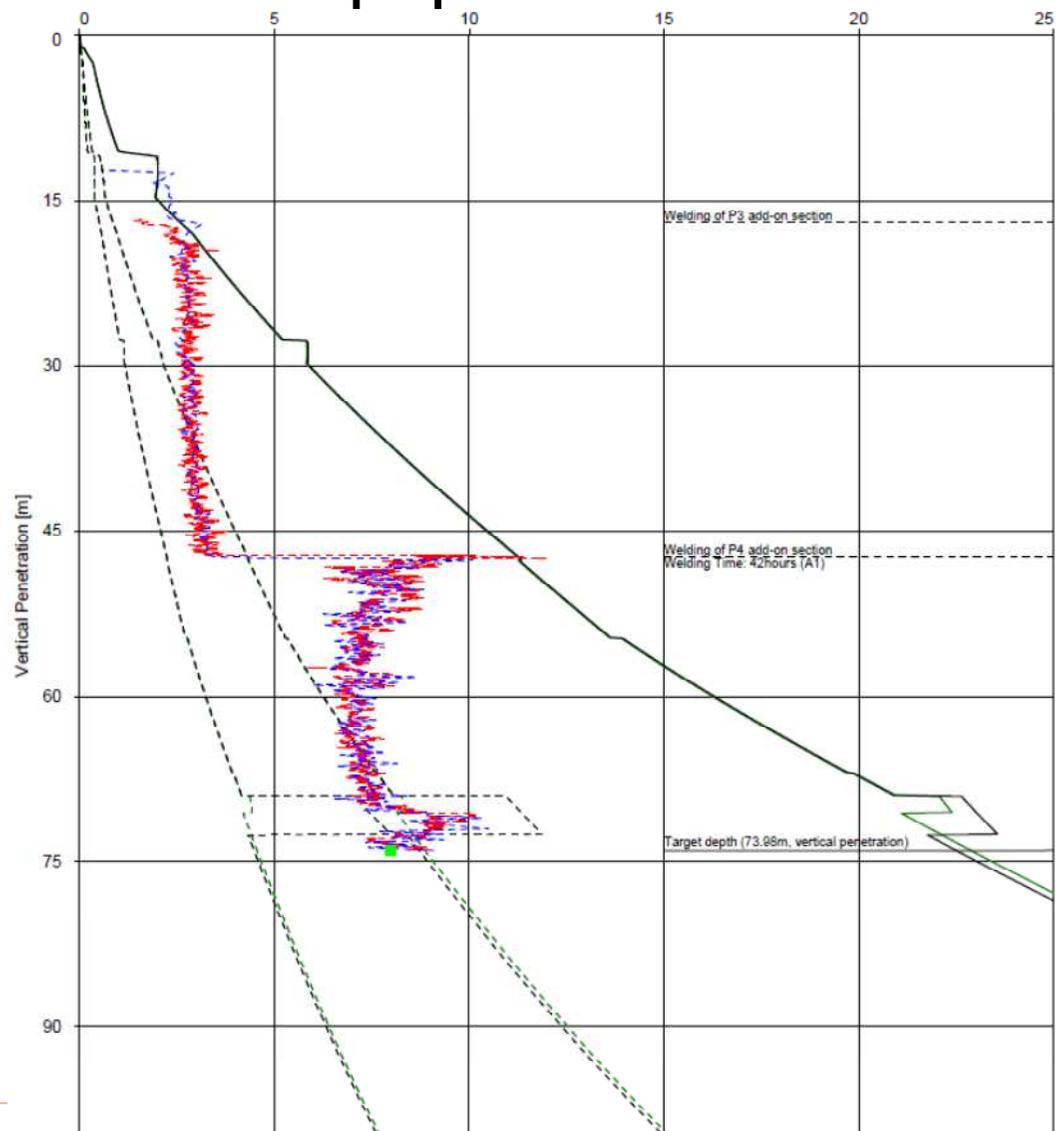
Maximum dynamic compressive stress :

185 MPa for 80% efficiency  
 160 MPa for 60% efficiency  
 129 MPa for 40% efficiency  
 77 MPa for 15% efficiency

## WAVE EQUATION ANALYSES

# RESULTATS D'INSTRUMENTATION

La RSB est réévaluée à chaque pénétration...



# REANALYSE DE BATTAGE

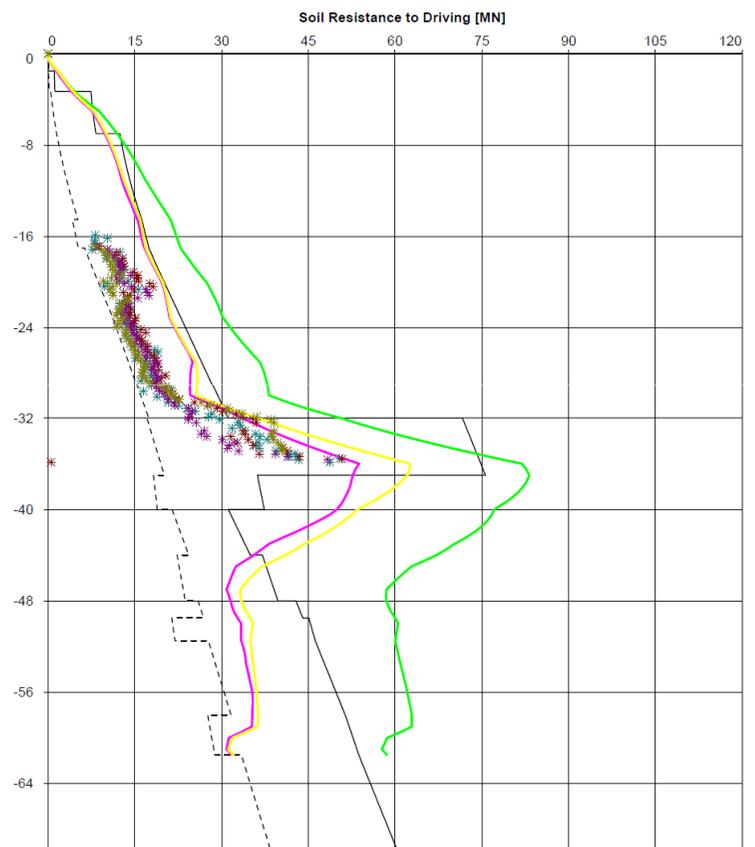
---

La RSB calculée au cours du battage permet de vérifier:

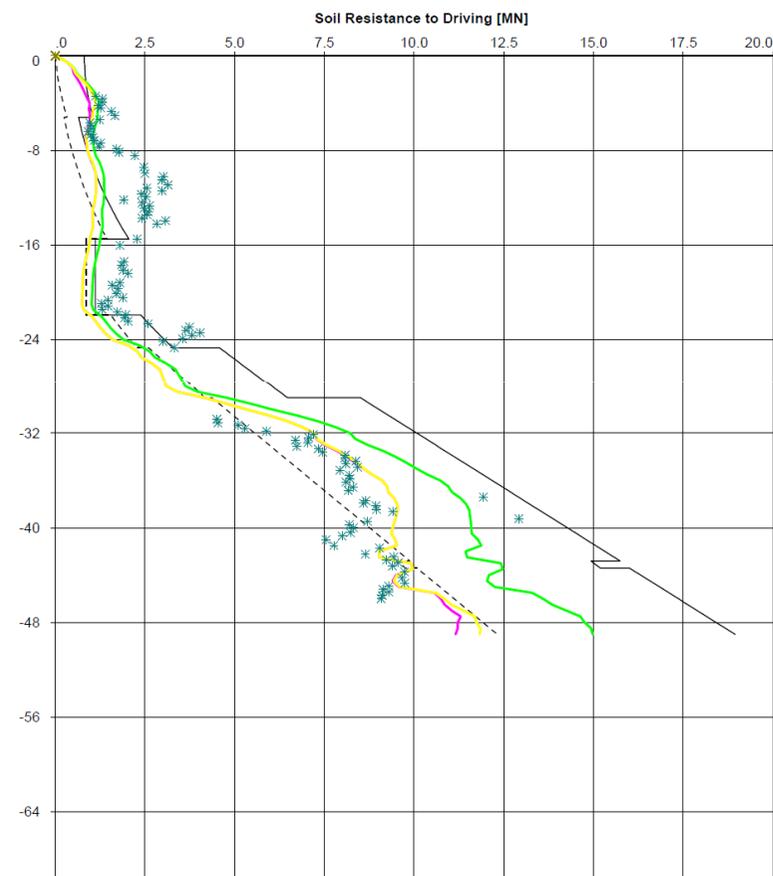
- la validité des études préliminaires et en particulier la SRB prévisionnelle
- la pertinence des méthodes utilisées
- les paramètres de sol utilisés pour les calculs préliminaires

# REANALYSE DE BATTAGE

## Développement de nouvelles méthodes de prédictions de RSB



- - - - - Lower bound: Stevens with CPT SRD      — Upper bound: Stevens with CPT SRD  
 — Schneider (Calibrated + Limit friction)      — Schneider (Original)  
 — Schneider (Original Calibrated)

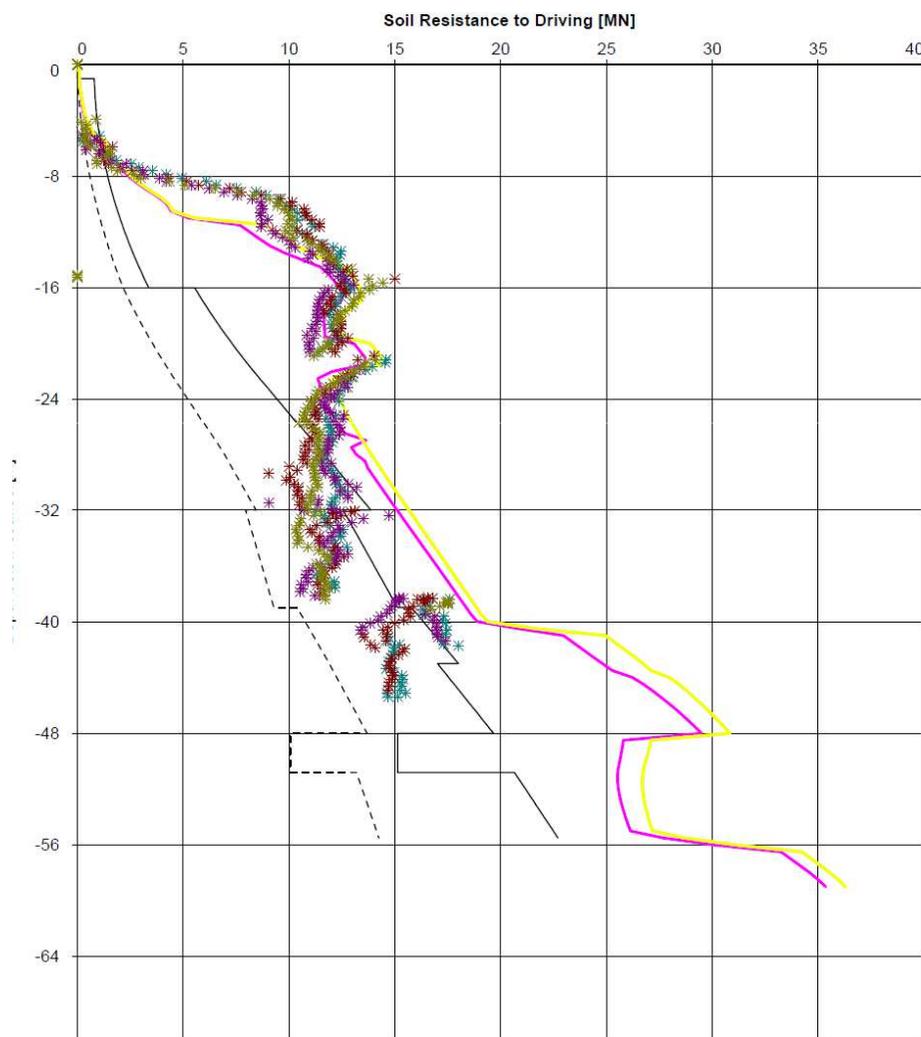


- - - - - Lower bound: Stevens with CPT SRD      — Upper bound: Stevens with CPT SRD  
 — Schneider (Calibrated + Limit friction)      — Schneider (Original)  
 — Schneider (Original Calibrated)

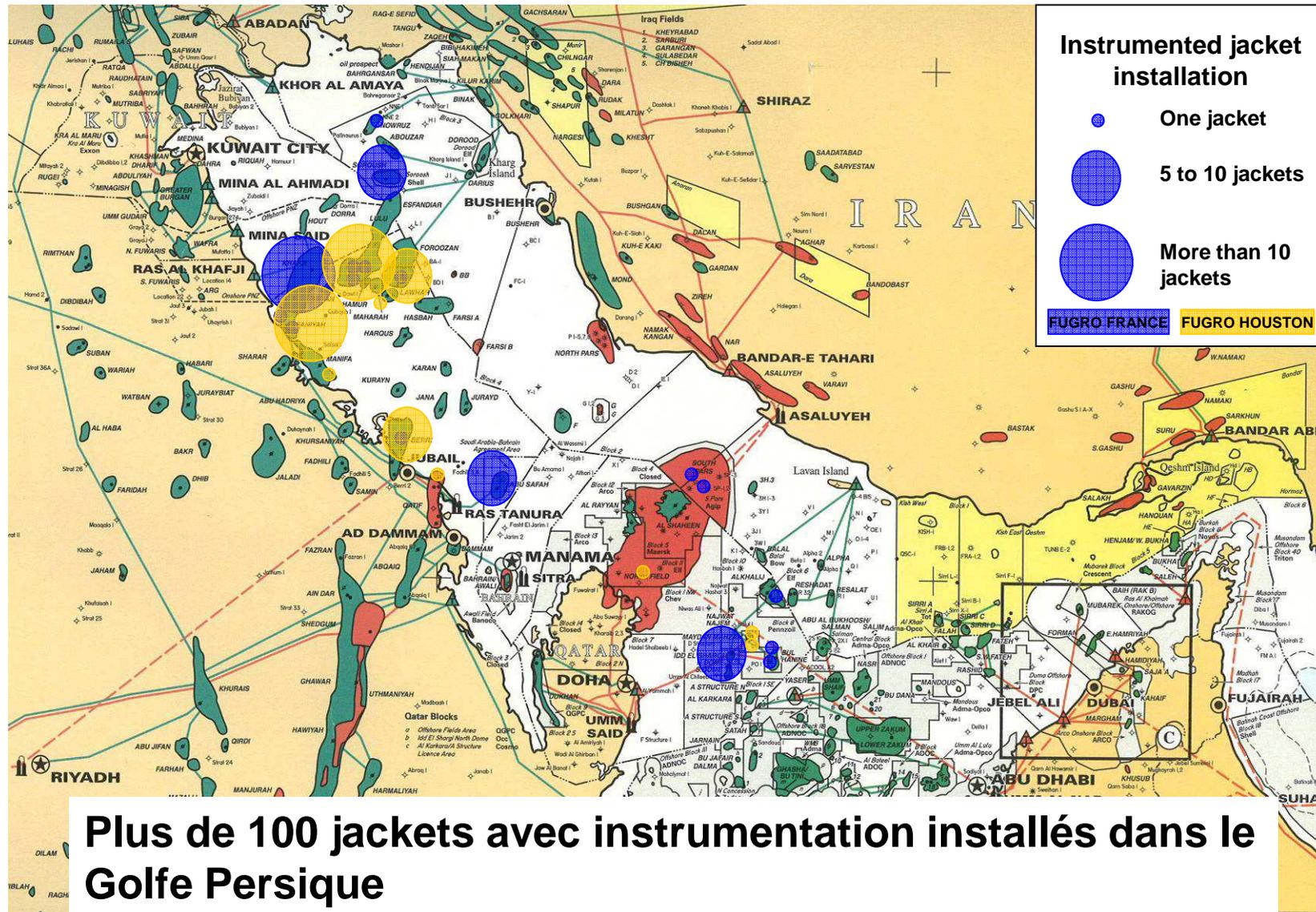
# REANALYSE DE BATTAGE

Ou application de paramètres spécifiques à un site

Exemple: sable siliceux très dense en surface



# REANALYSE DE BATTAGE - Expérience





## CONCLUSION

---

L'instrumentation permet de:

Contrôler le battage (efficacité et fonctionnement du marteau)

Eviter les contentieux

Fournir une estimation de la capacité portante en fin de battage

Comparer les prédictions de résistances de sol au battage avec celles mesurées en cours d'installation

Affiner les paramètres de sol ou les méthodes pour les installations futures

Développer de nouvelles méthodes de prédiction

