



Contents Menu

- Introduction
- Théorie du vibrofonçage
- Modèles de calcul
- Applications

Introduction



Mur de quai à Rotterdam
(Pays-Bas)

Diamètre des pieux = 1,5 m



Hong Kong-Zhuhai-Macau
Bridge (www.allnamics.eu)

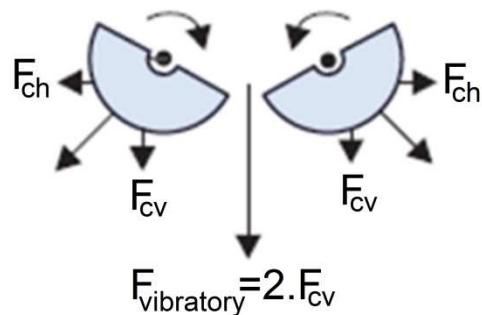
Diamètre du pieu = 22 m



Campagne expérimentale à Limelette
(Belgique)

Palplanche AZ14

Principes du vibrofonçage



$$F_{\text{vibrator}} = me \cdot \omega^2$$

$$s_p = \frac{me}{M_{\text{dyn}}}$$

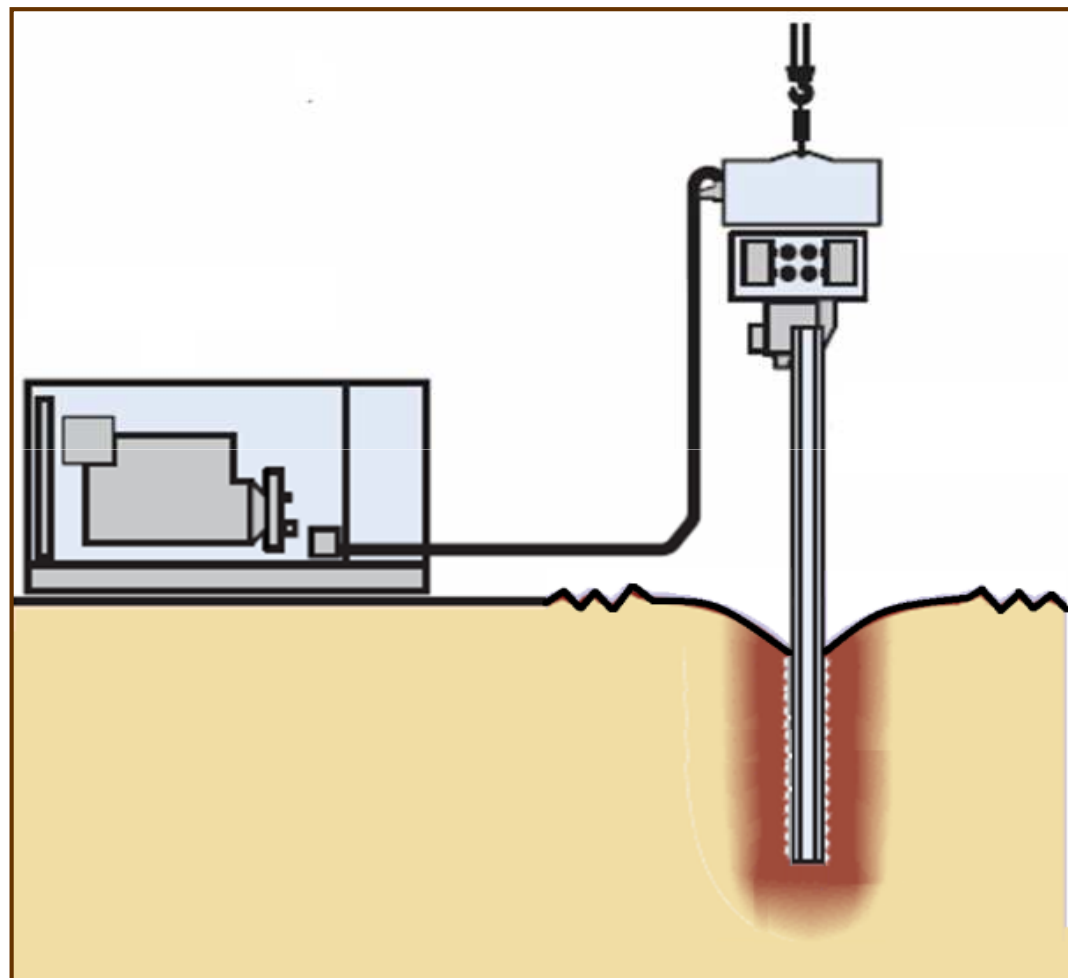
Paramètres importants

me = moment *eccentrique* [kg.m]

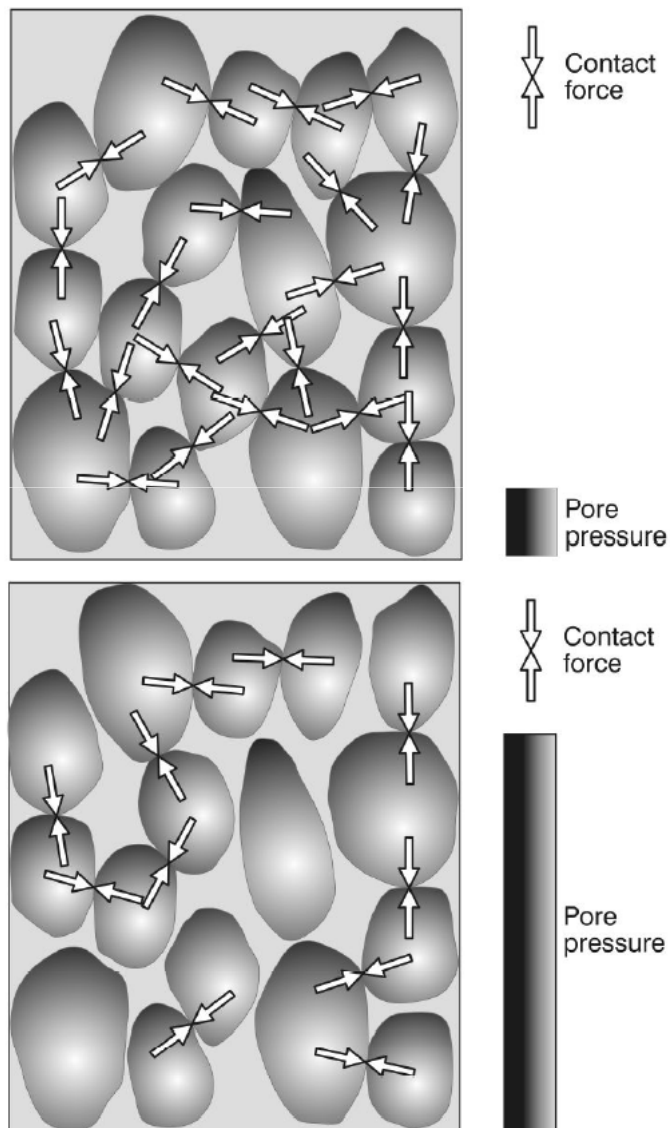
ω = *fréquence* [rad]

M_{dyn} = *masse dynamique* [kg]

s_p = *amplitude vibratoire* [m]



Principes du vibrofonçage



Dégradation cyclique du sol

- Augmentation de pression interstitielle
(Vanden Berghe 2001)
- Fluidisation particulaire
(Denies 2010)

Dépend de:

- La Fréquence
- L'Amplitude
- Le Nombre de cycles
- Le Type de sol

Sable saturé >< Sable non saturé ou sol cohésif

Questions liées au vibrofonçage

- Sélection de l'équipement de vibrofonçage
- Profondeur du refus
- Vitesse de fonçage
- Contraintes dans le profilé vibré
- (*Nuisances environnementales*)

Similarités avec le battage

MAIS

Les calculs de vibrofonçage nécessite la prise en compte du
couplage entre le comportement en vibrofonçage du
pieu et la résistance du sol

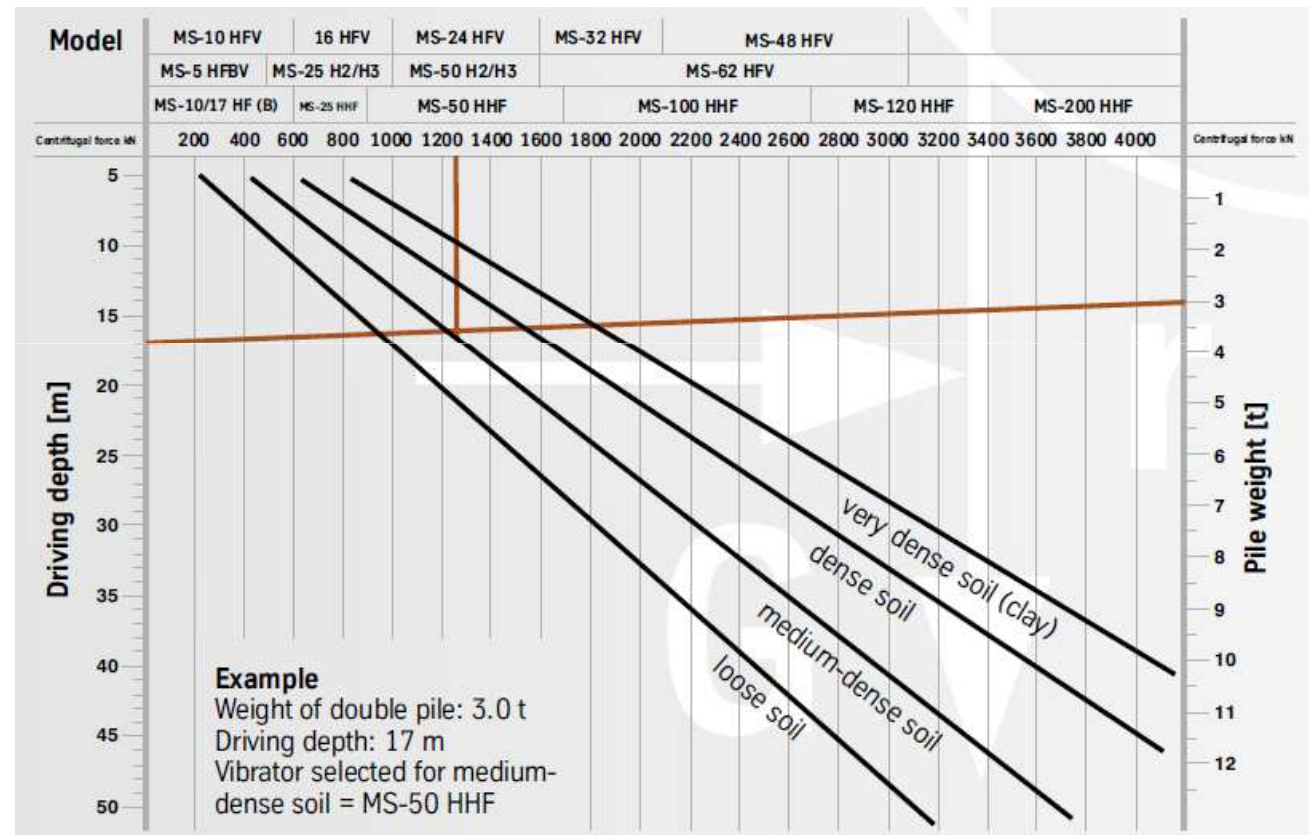
Modèles de calcul (1) – Règles empiriques

Exemple: vibrateurs MÜLLER

- ✓ Groupe hydraulique
- ✓ Vibrateur



<http://www.thyssenkrupp-bautechnik.com>



Abaques: valeur indicative uniquement

Modèles de calcul (1) – Règles empiriques

- ✓ Groupe hydraulique
- ✓ Vibreur

$$me = s_p \times M_{dyn}$$

Avec:

M_{dyn} = Masse dynamique
(vibreur + pieu)

$s_p \geq 3mm$: Sols granulaires

$s_p \geq 5mm$: Sols cohésifs



<http://www.thyssenkrupp-bautechnik.com>

Abaques: valeur indicative uniquement

Modèles de calcul (2) – Hipervib I

■ Loi de dégradation du sol

$$\tau_l = \tau_s \cdot ((1 - 1/\Lambda) \cdot e^{-c_s \cdot 100/FR} + 1/\Lambda)$$



Résistance liquéfiée,
fonction des propriétés du sol

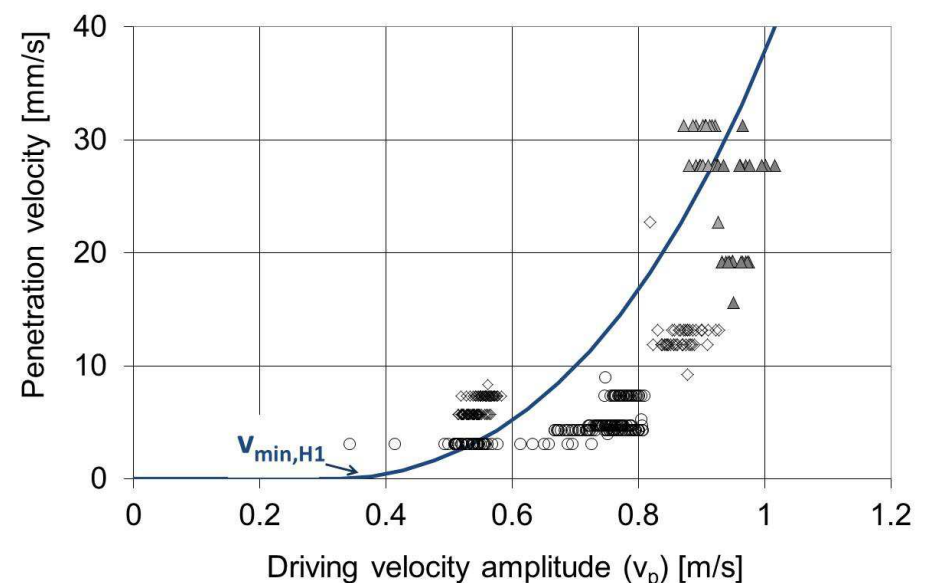
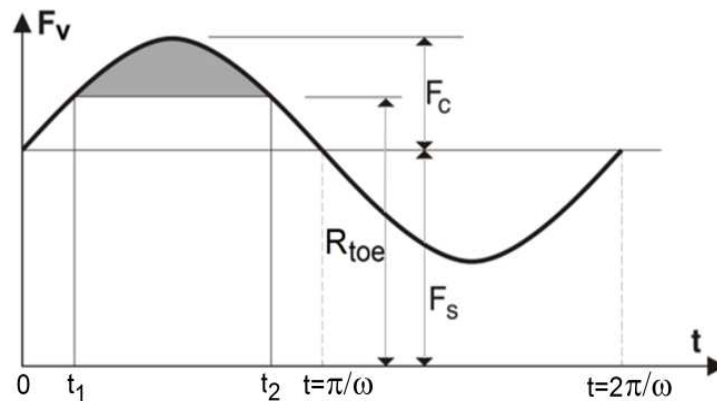
$$\tau_d = (\tau_s - \tau_l) \cdot e^{-a_p/g} + \tau_l$$



Résistance au vibrofonçage
fonction de la résistance liquéfiée
ET des paramètres de vibrofonçage

■ Vitesse de fonçage

$$v_{pen} = K_{ap} \cdot (K_{\downarrow}^2 - K_{\uparrow}^2) \cdot (v_p - v_{min,H1})$$



Hipervib I

Predominant Soil type	Location	Z_{pen} [m]	Refusal?	Profile(s)	Vibrator(s)
Sand	Genk	7.8	No	L-2S	Dieseko 50M
	Liege	8.2	Yes	BZ17/PU25	ICE14RF/416
	Koksijde	7.5	No	Omega 8	PTC15HFV
	Etten-Leur	9	Yes	AZ13/AZ18 PU16/PU32	Dieseko VM40/2520/50M ABI MRZV40
Clay	North Sea	11.4	Yes	Tube	ICE1412
	Sint-Stevens-Woluwe	13	No	AZ26	PTC50H2
	Watermael-Bosvoorde	6	No	BZ12	PTC13HF
	Boortmeerbeek	11.4	No	Larssen III	PTC30HFV
	Gent-Zeehaven	17.5	No	AZ13	PTC25H2
	Leie-Kortrijk	11.5	No	PU16	Dieseko PVE2315
Mixed	Hingene	14	No	BZ17	PTC50H2/30HF/30HFV
	Erembodegem	10	No	BZ17	PTC30HF3
	Anderlecht	9	No	DWZ135	ABI VRZ600GL
	Landen	6.7	No	AZ13	ABI VRZ600GL
	Wielsbeke	9.7	No	AZ18	PTC23HFV
	Limelette	8	Yes	PU16	ICE14RF
	Moerzeke	10.5	Yes	AZ18	PTC15HF
	Kortrijk	10	No	Tube	PTC30HFV/110HD
	Vilvoorde	12.5	No	Tube	PTC 110HD
	Gent-Ringvaart	12.5	Yes	L-7	PVE 50M

Paramètres empiriques ?

➡ Bases de données

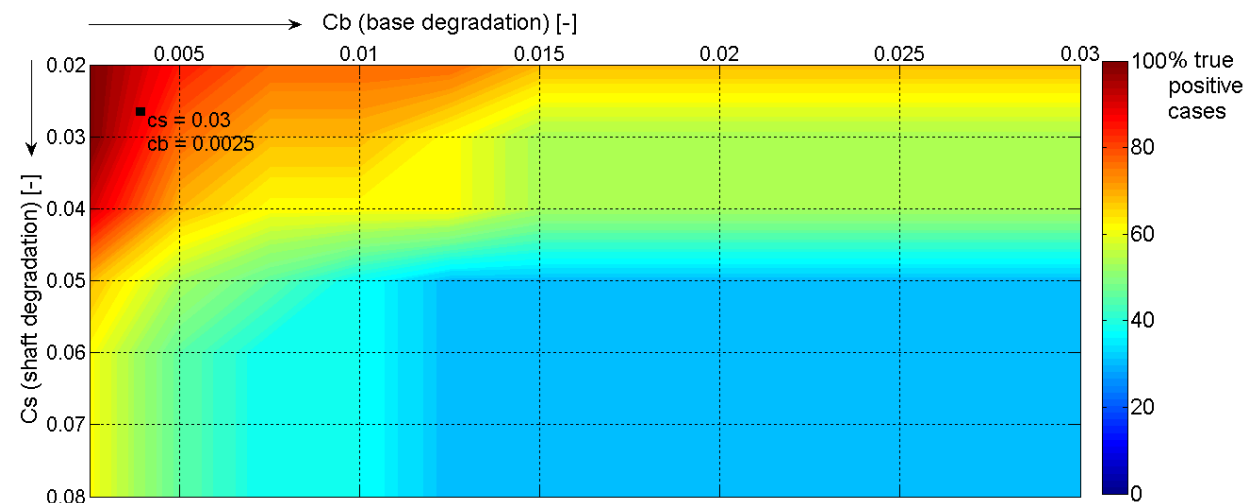
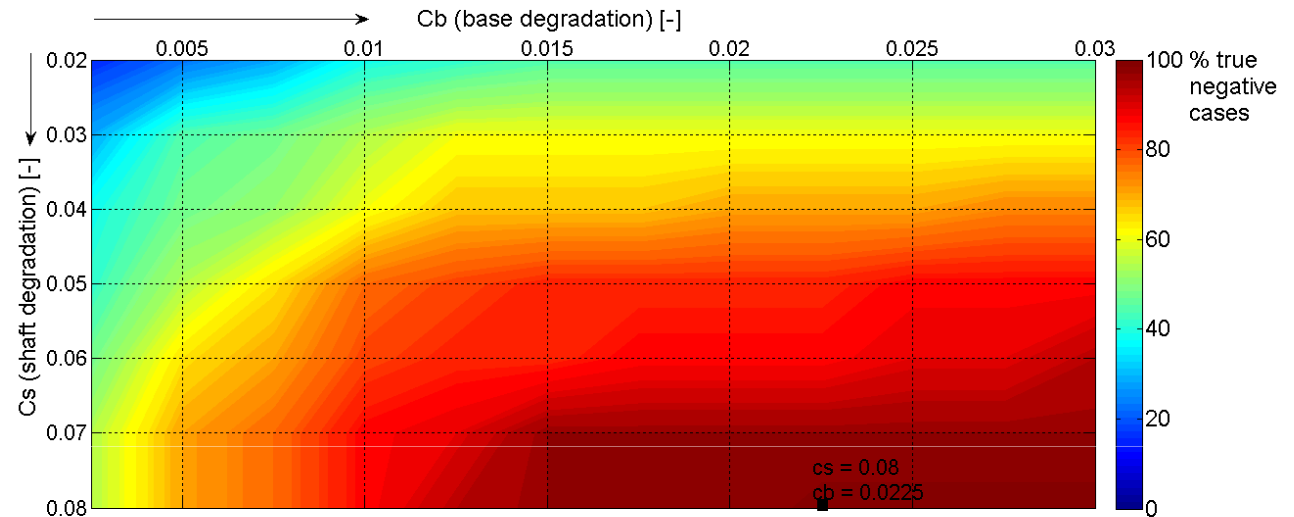
Predominant Soil type	Location	Length [m]	Refusal?	Profile	Vibrator
Sand	Utrecht	9,6	No	AZ18	2323VM
	Amsterdam	23	Yes	AZ26	50M
	Breda	13	No	L23	23RF
	Den Haag	15,8	No	AZ18	40VM
	Harmelen	13	Yes	L605	2316VM
	Medemblik	18	No	AZ26/AZ36	25M
		20	No	AZ26/AZ36	25M
	Nijmegen	6/8	No	L604	2315VM
	Raamsdonksveer	15	No	AZ26	2323
		15,5	No	L606	2323
	Rotterdam	22	No	AZ36	105M
	Terneuzen	6,5	No	H1700	38M
		9,25	Yes	H1700	38M
		10,2	Yes	H1700	38M
Clay	Veghel	14,5	No	AZ36	40VM
		16	No	U-L605	40VM
	Wassenaar	11	No	H2500	23RF
	Amsterdam	8,75	No	AZ18	25M
		17,5	No	AZ26	2332VM
	Delft	6	No	L603	2315VM
		9	No	PU12	40VM
		11,5	No	AZ18/AZ13	2315VM/40VM
		15/16	No	AZ18	18RF
	Den Haag	10	No	PU12	2315VM
	Gorinchem	11	No	AZ13	2315
	Leeuwarden	12	No	AZ18	2316VM
	Leidschendam	8	Yes	PU12	25M
	Lisse	14,5	No	AZ26	35RF
		14/23,5	No	AZ18/AZ36	36RF-ts
	Rotterdam	21/22	No	PU20/AZ36	40VM/105VM
		23	Yes	AZ26	36RF
		17,5	Yes	AZ18	46RF/50M
		20/24	Yes	L25/AZ18	46RF
	Schipmuiden	14,5	No	AZ18	40VM
		18,5	No	AZ18	40VM
	Zaandam	13	No	AZ18	15HFV
		11	No	AZ18	2323
		13,5	No	PU12	2323
Mixed	Zoetermeer	10	Yes	H1700	38M
		10	Yes	H1700	38M
	Amsterdam	13	Yes	AZ18	2316VM
	Caland	25,5	Yes	PU20	105M
	Den Haag	8,5	No	L606	2315
	Eindhoven	6	No	LX8	2520
	Rotterdam	21	No	AZ36	105M
	Terneuzen	9,25	Yes	H1700	38M

Hipervib I – Paramètres empiriques

Traitement
Statistique des
résultats



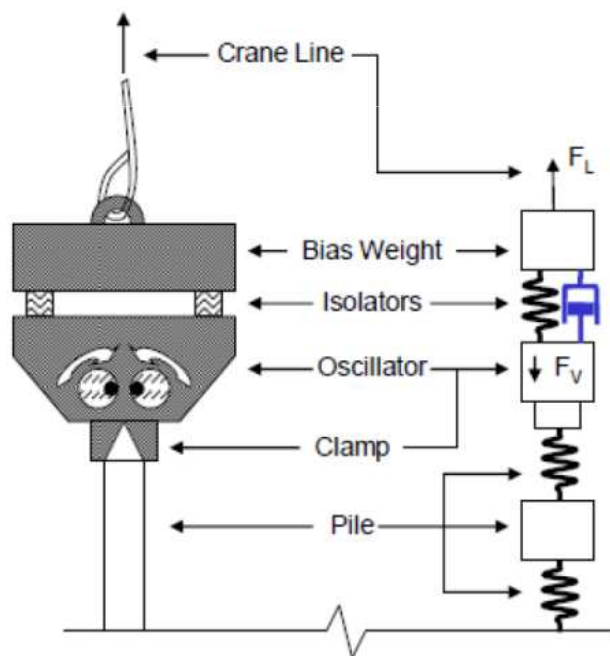
Paramètres
empiriques
et intervalle
d'incertitude



Modèles de calcul (3) – Contraintes dans le profilé

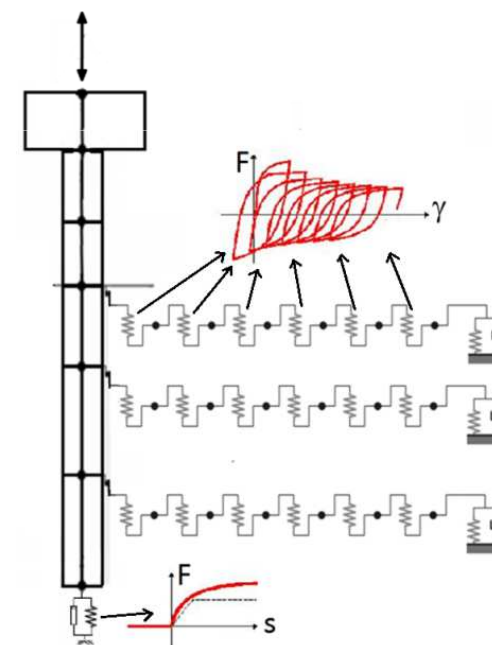
■ Solutions analytiques

$$\frac{F_{c,pile}(z)}{F_{vibrator}} = \frac{1}{1 + \frac{M_{vib,dyn}}{M_{pile}} \cdot \frac{\alpha}{\tan(\alpha)}} \cdot \frac{\sin(k \cdot (L - z))}{\sin(kL)}$$



GRLWEAP

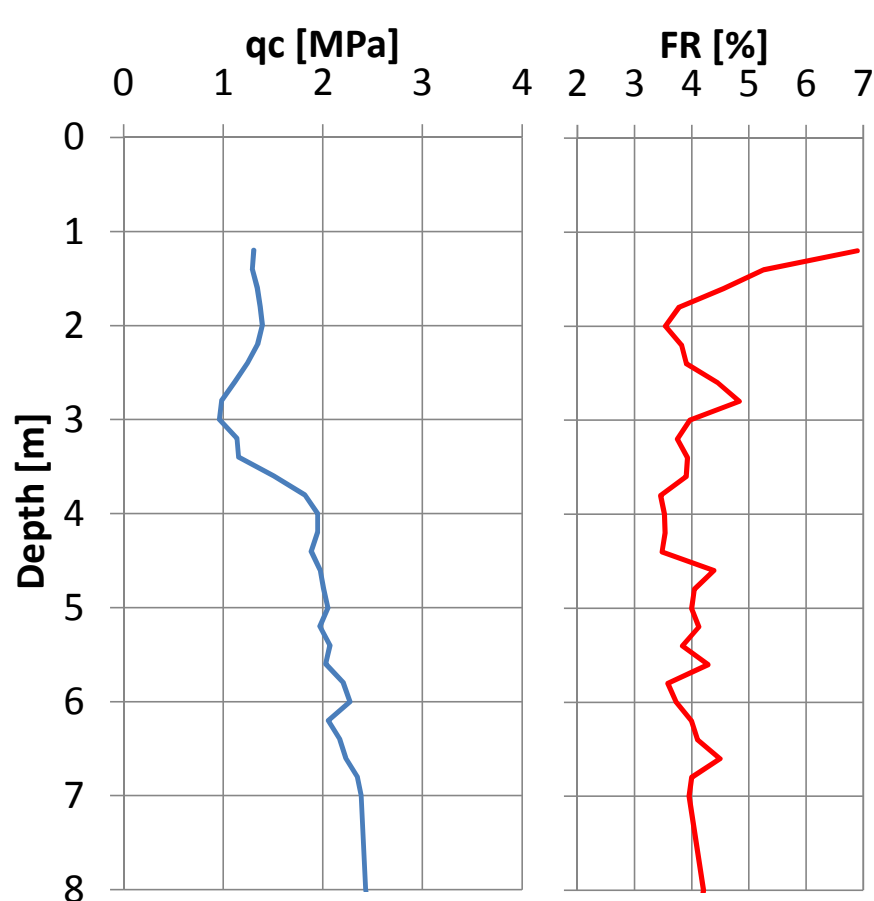
■ Solutions numériques



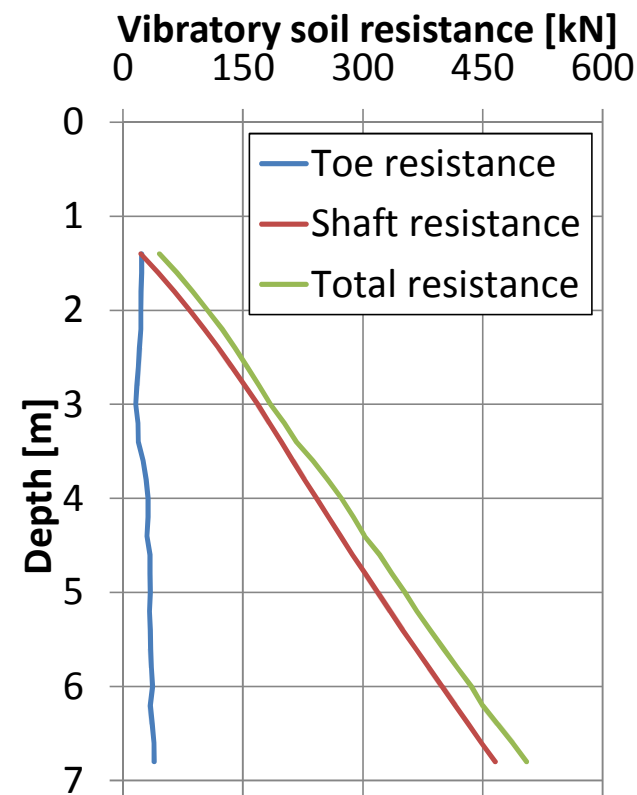
DOF2Lab

Hipervib I – Validation (2)

■ Influence de la puissance du vibreur – cas de Merville



ICE 815: Me = 46 kg.m
Freq = 26 Hz

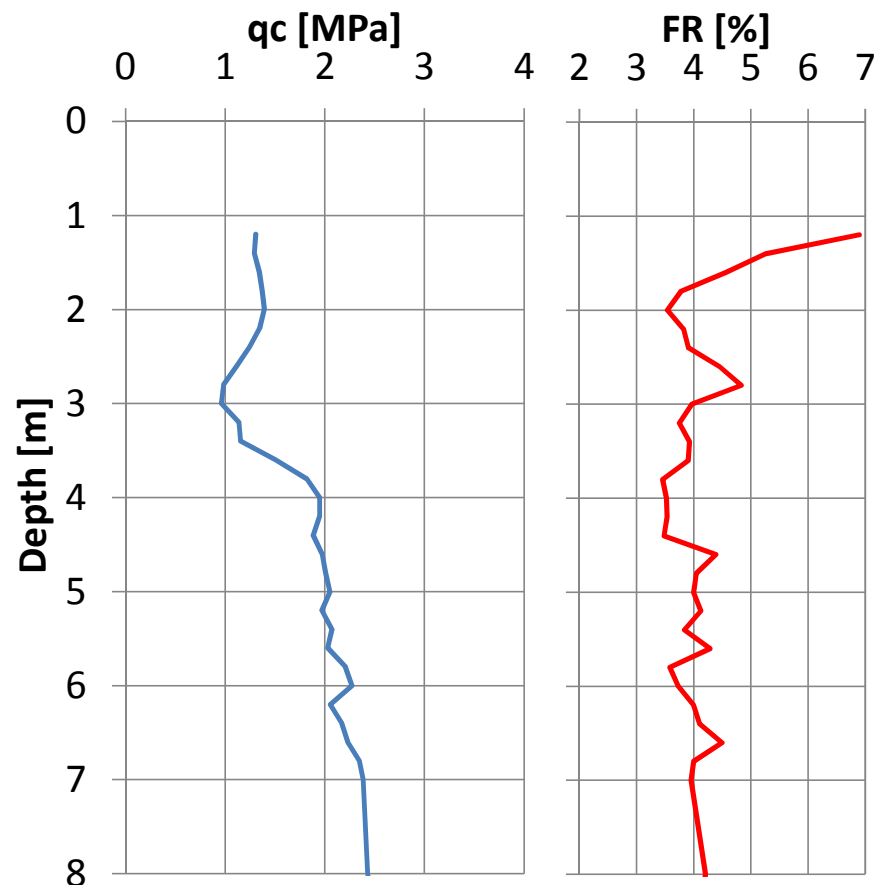


$$\tau_l = \tau_s \cdot \left((1 - 1/\Lambda) \cdot e^{-c_s \cdot 100/FR} + 1/\Lambda \right)$$

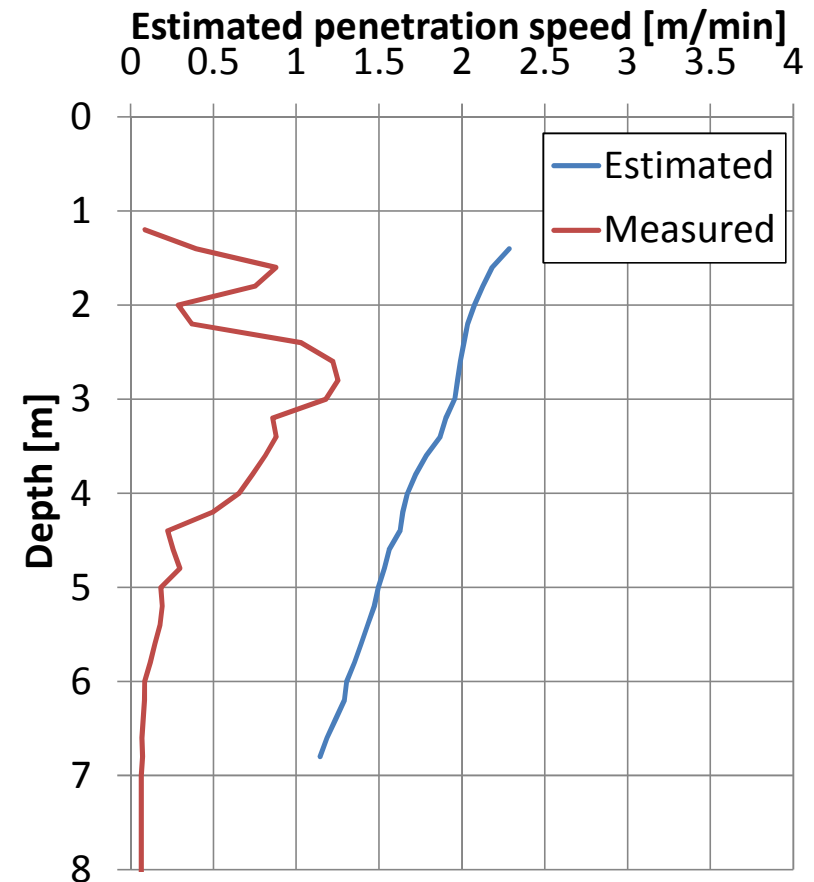
$$\tau_d = (\tau_s - \tau_l) \cdot e^{-a_p/g} + \tau_l$$

Hipervib I – Validation (2)

- Influence de la puissance du vibreur – cas de Merville



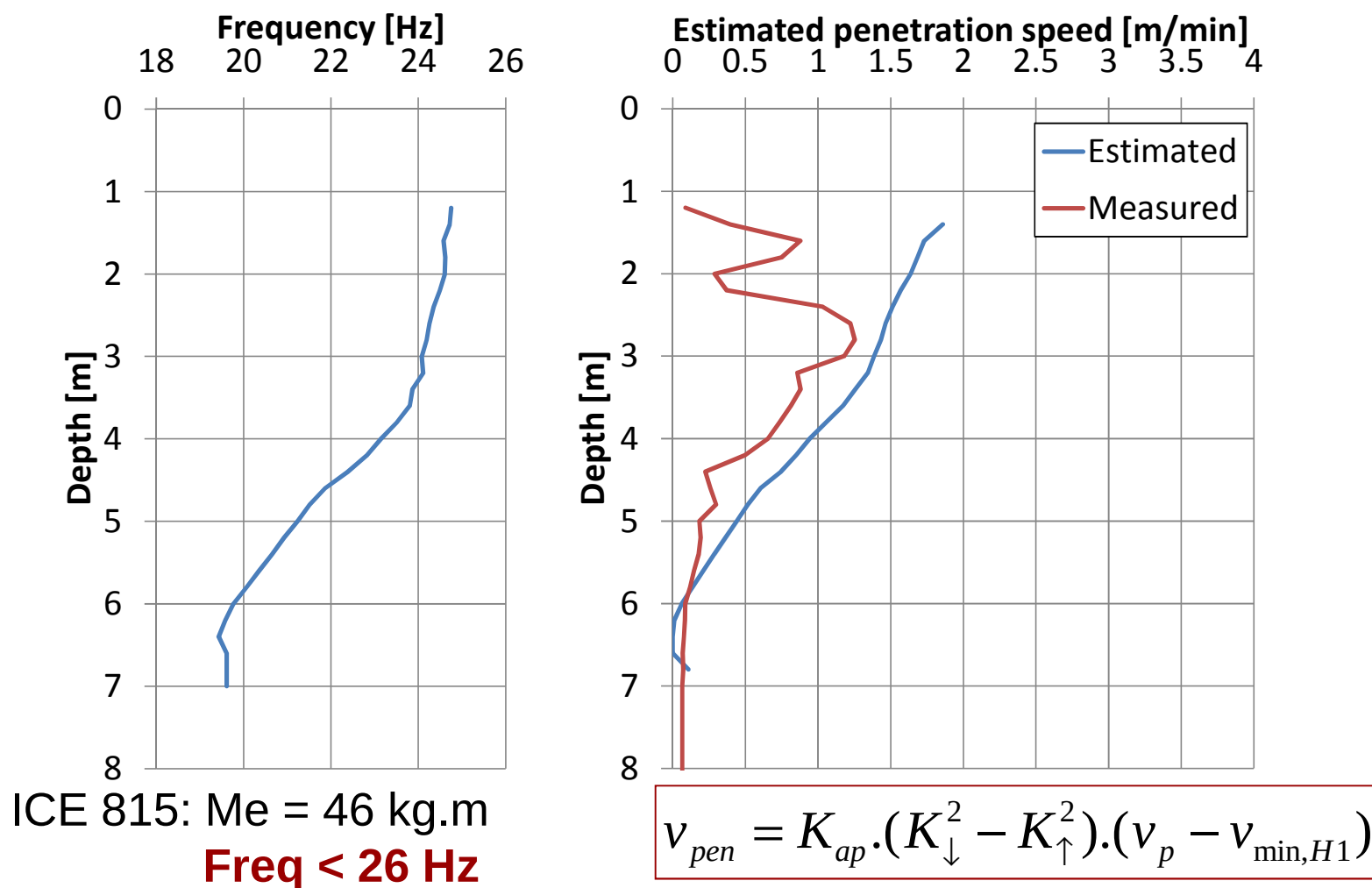
ICE 815: Me = 46 kg.m
Freq = 26 Hz



$$v_{pen} = K_{ap} \cdot (K_{\downarrow}^2 - K_{\uparrow}^2) \cdot (v_p - v_{min,H1})$$

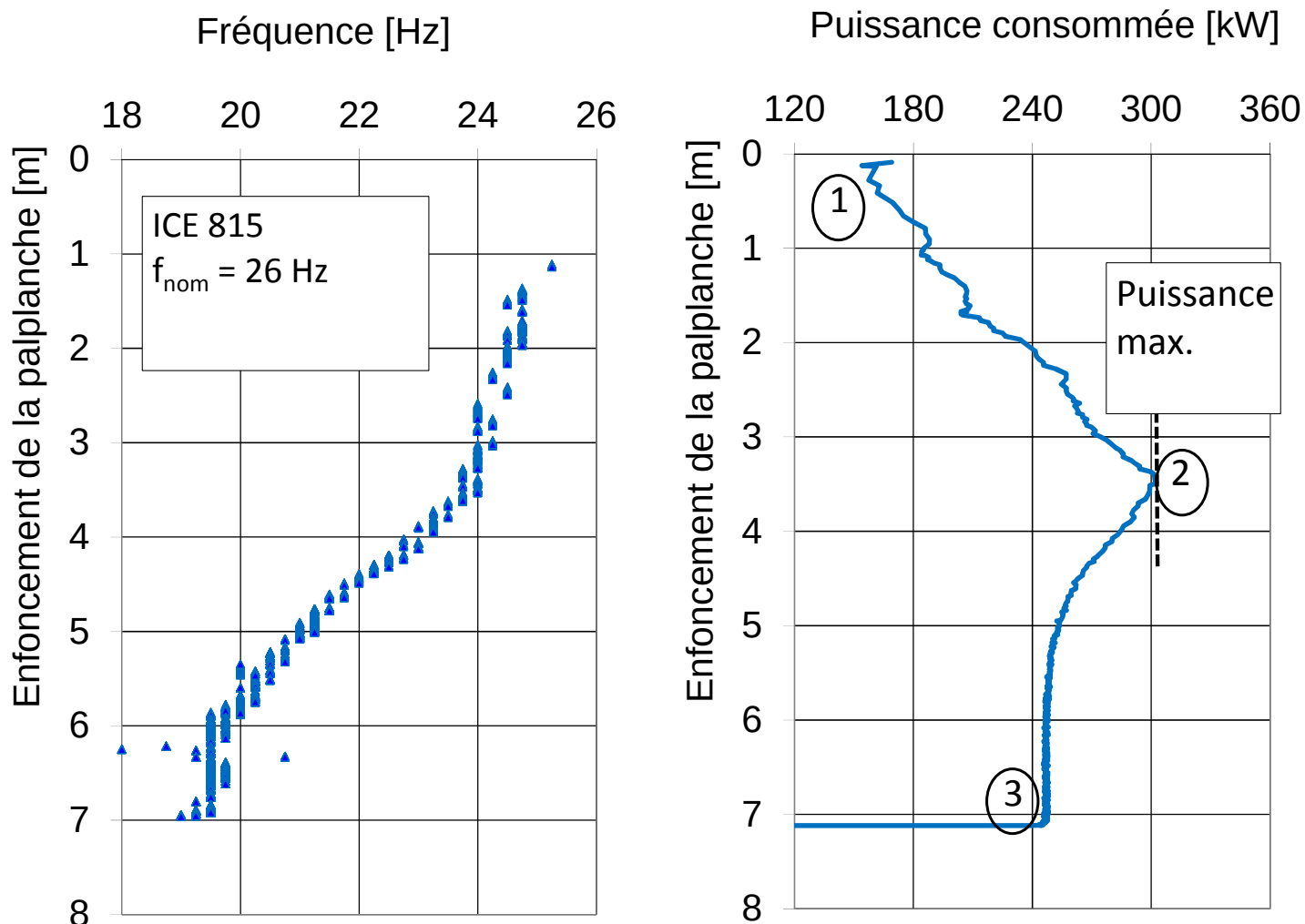
Hipervib I – Validation (2)

- Influence de la puissance du vibreur – cas de Merville



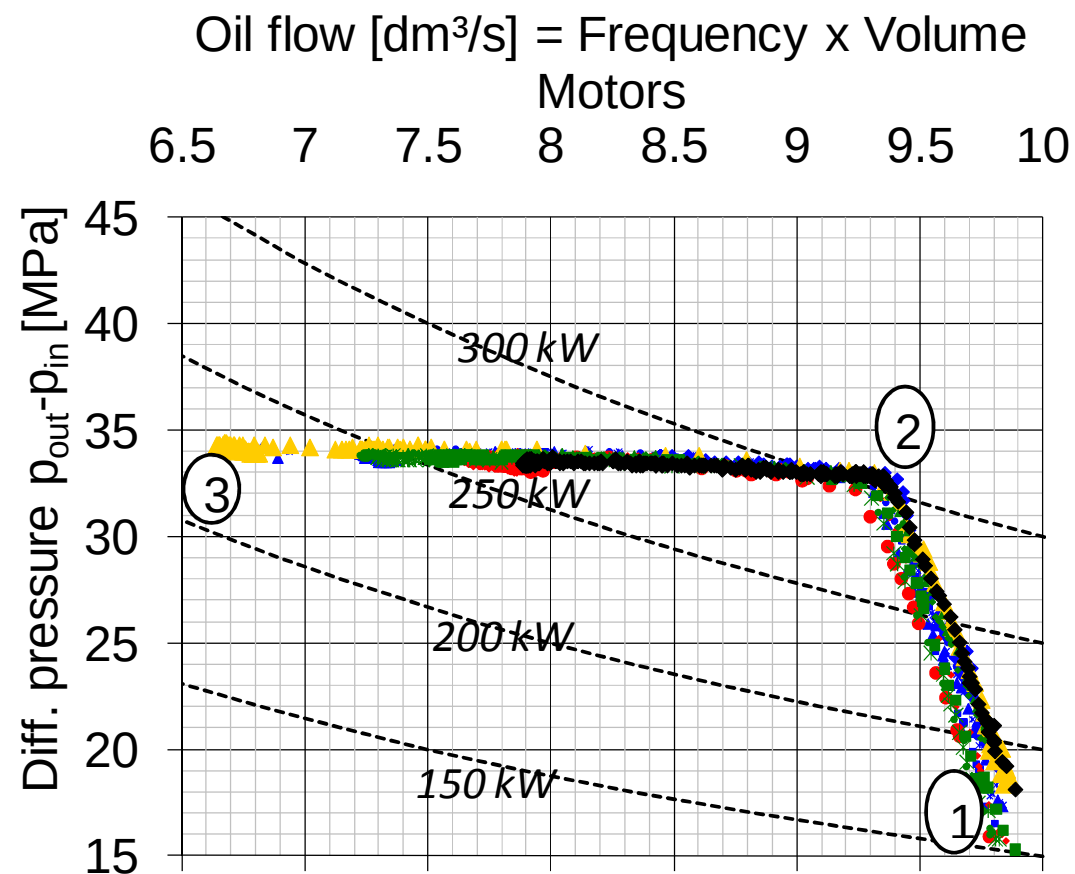
Hipervib I – Validation (2)

- Influence de la puissance du vibreur – cas de Merville



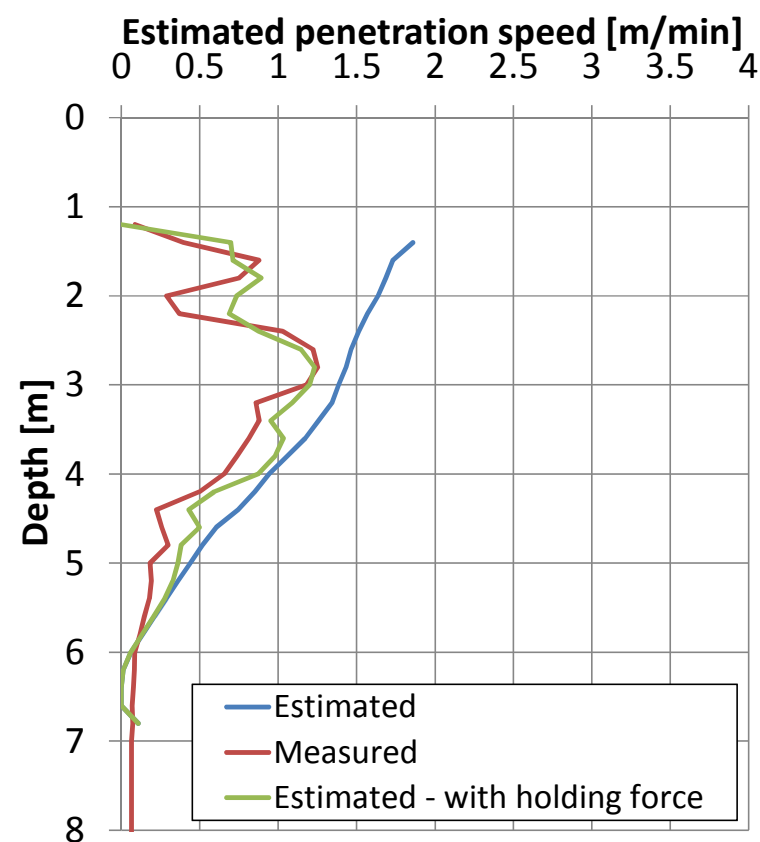
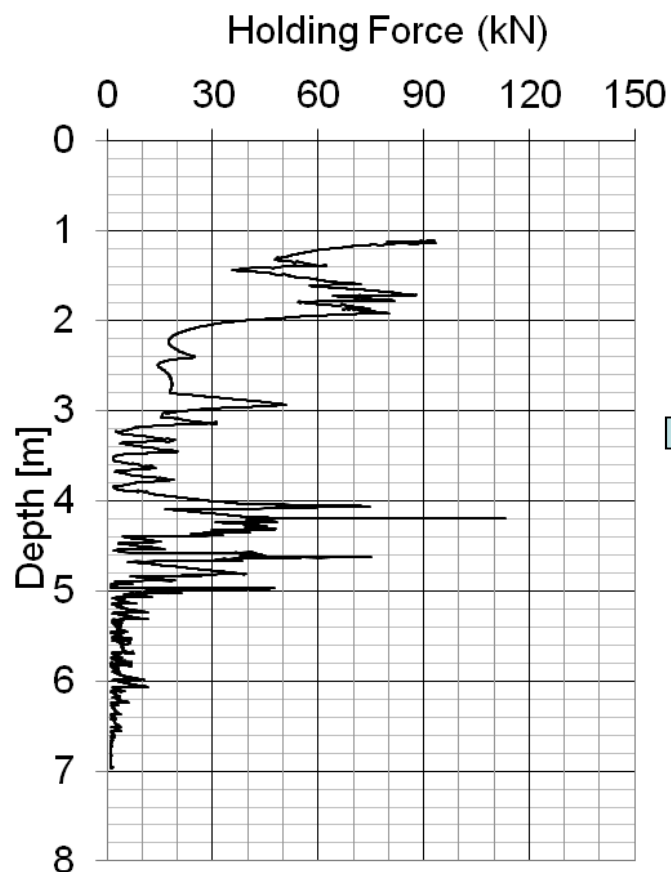
Hipervib I – Validation (2)

- Influence de la puissance du vibreur – cas de Merville



Hipervib I – Validation (2)

- Influence de la force de retenue



Applications (1): Essais en grandeur réelle (Limelette, Belgique)



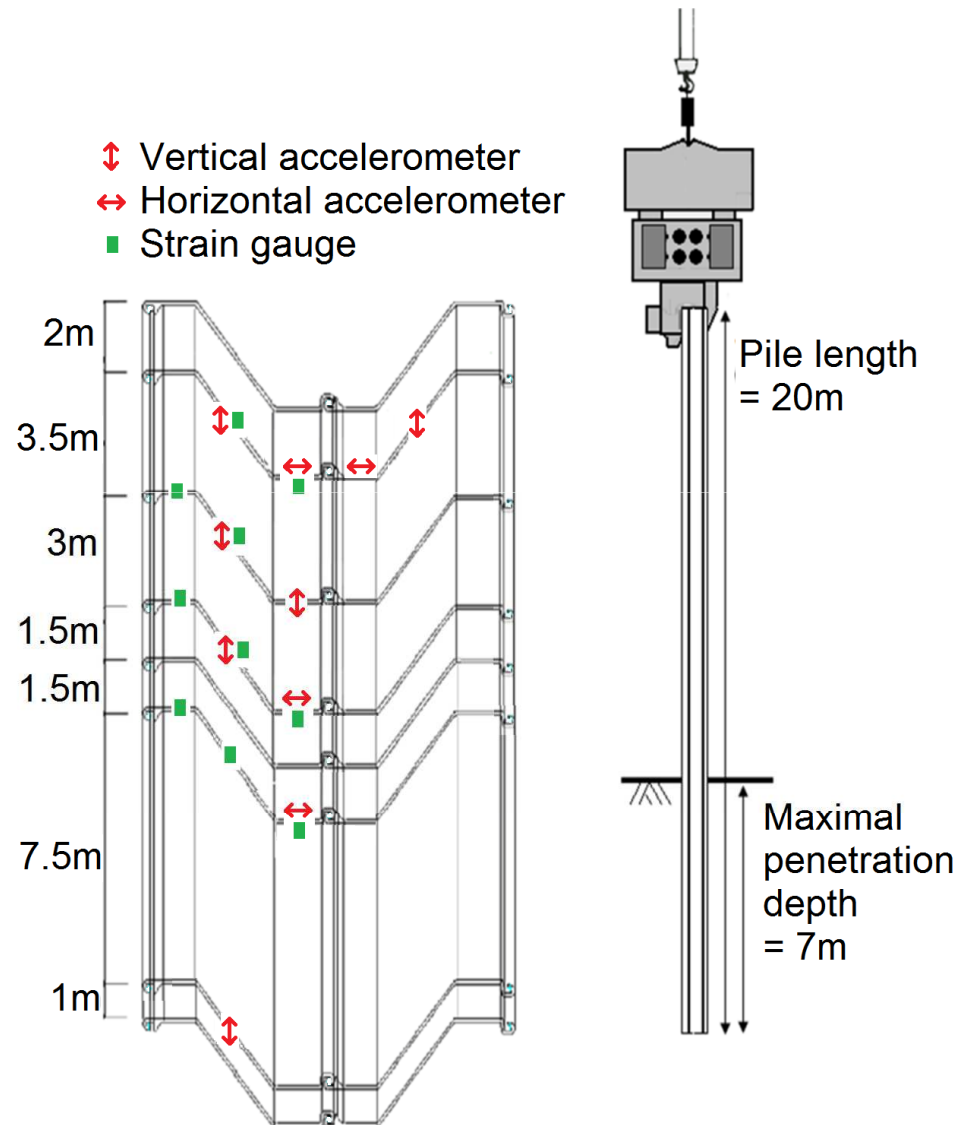
Campagne expérimentale À Limelette

- Influence of driving parameters on drivability/power consumption

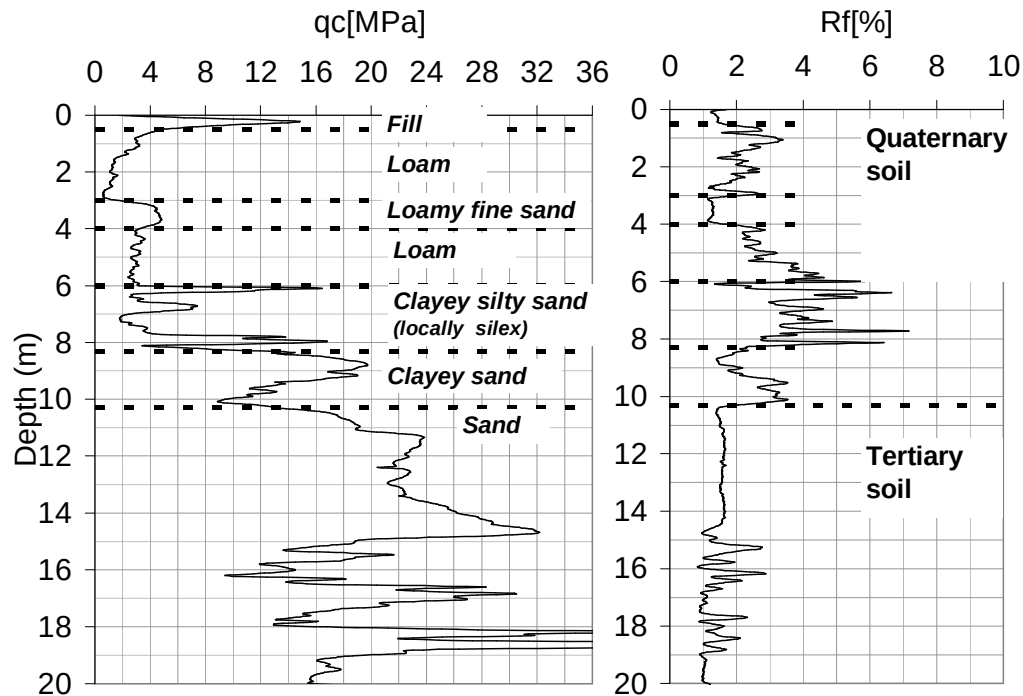
$f = 22 - 38\text{Hz}$

$s_p = 1.5 - 4\text{mm}$

- Extensive instrumentation: **power pack/pile/soil**

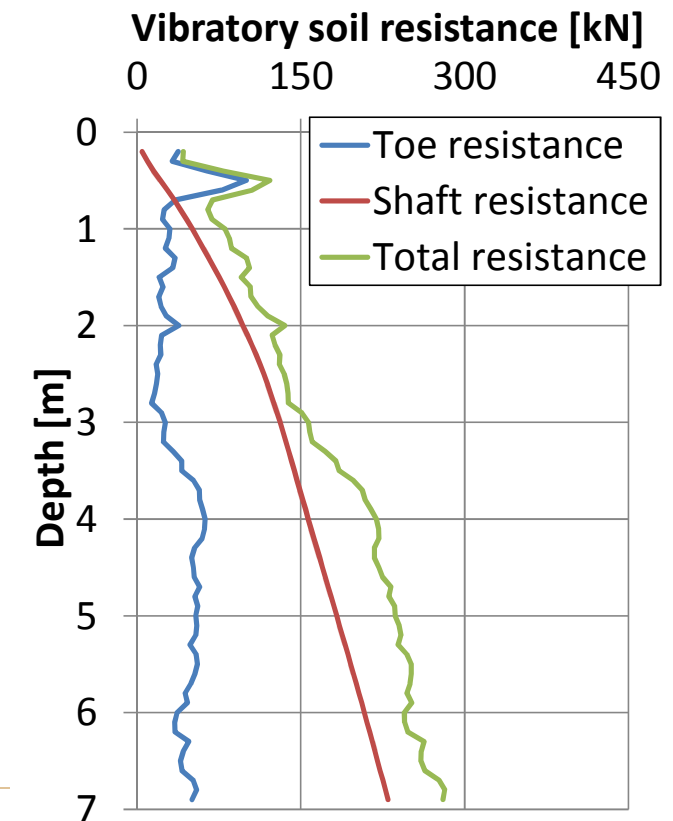


Applications (1): Essais en grandeur réelle (Limelette, Belgique)



$$\tau_l = \tau_s \cdot ((1 - 1/\Lambda) \cdot e^{-c_s \cdot 100/FR} + 1/\Lambda)$$

$$\tau_d = (\tau_s - \tau_l) \cdot e^{-a_p/g} + \tau_l$$



+

Palplanche AZ14, 20m

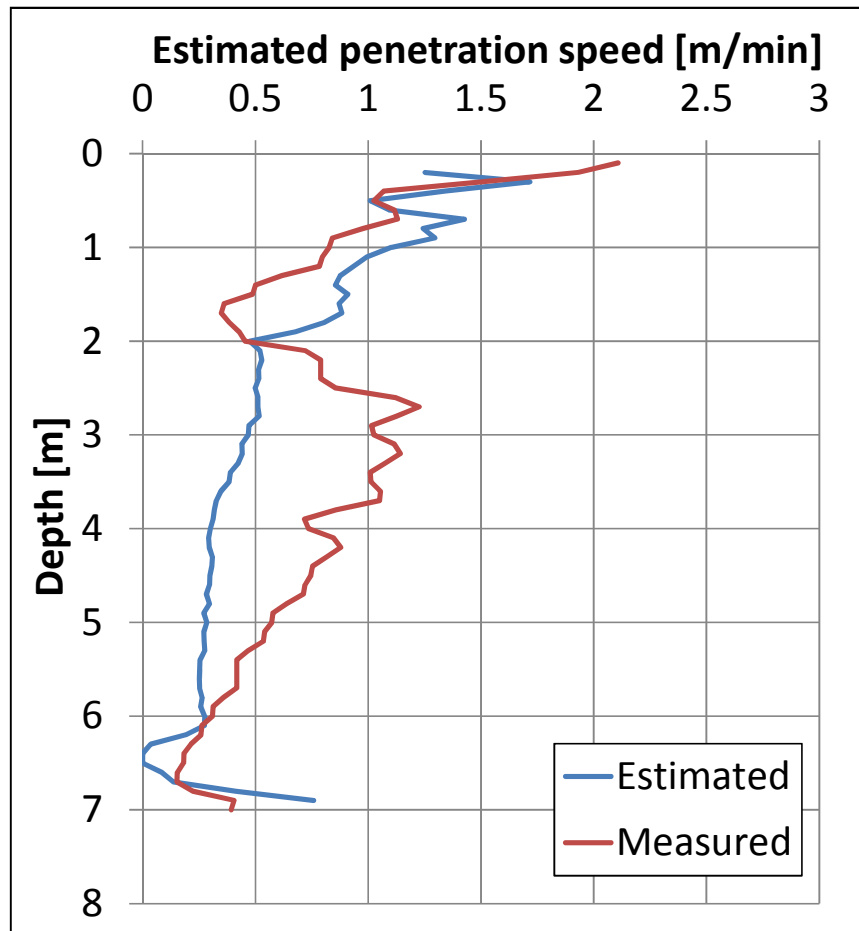
+

Vibrateur ICE 36RF

Applications (1): Essais en grandeur réelle (Limelette, Belgique)

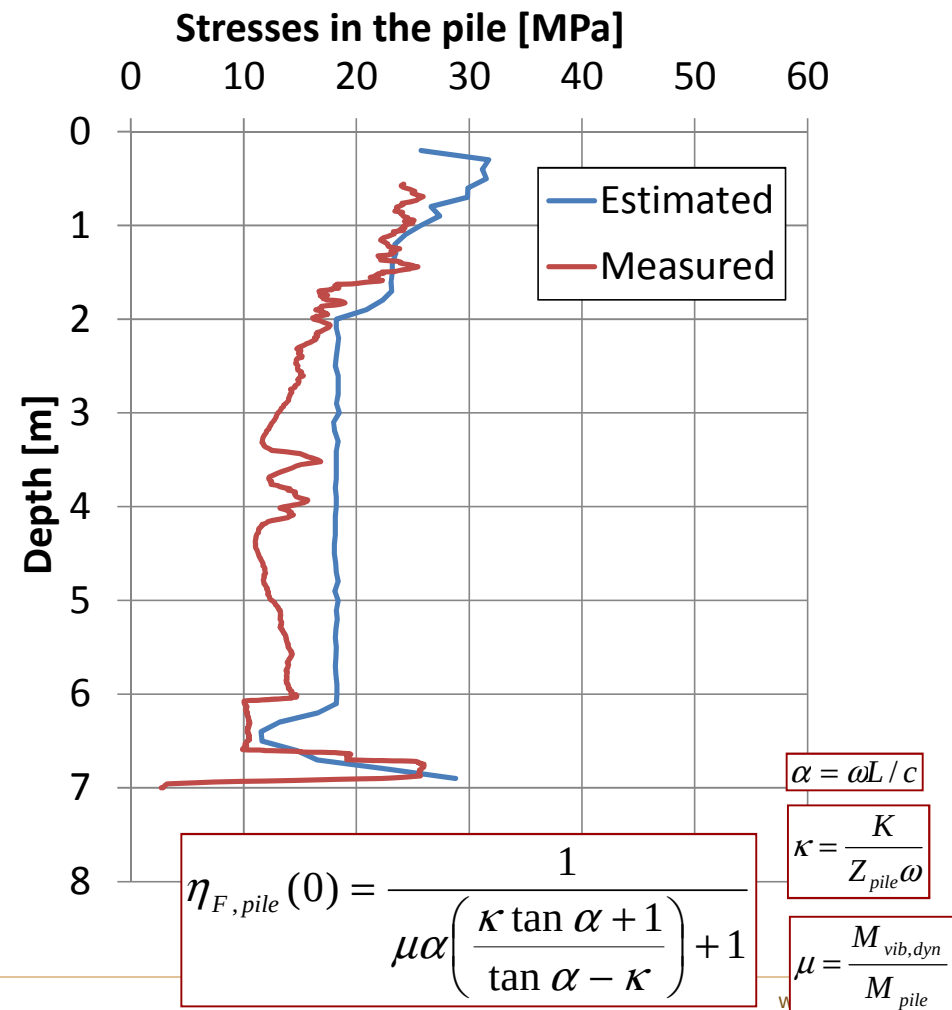


Vitesse de fonçage



$$v_{pen} = K_{ap} \cdot (K_{\downarrow}^2 - K_{\uparrow}^2) \cdot (v_p - v_{min,H1})$$

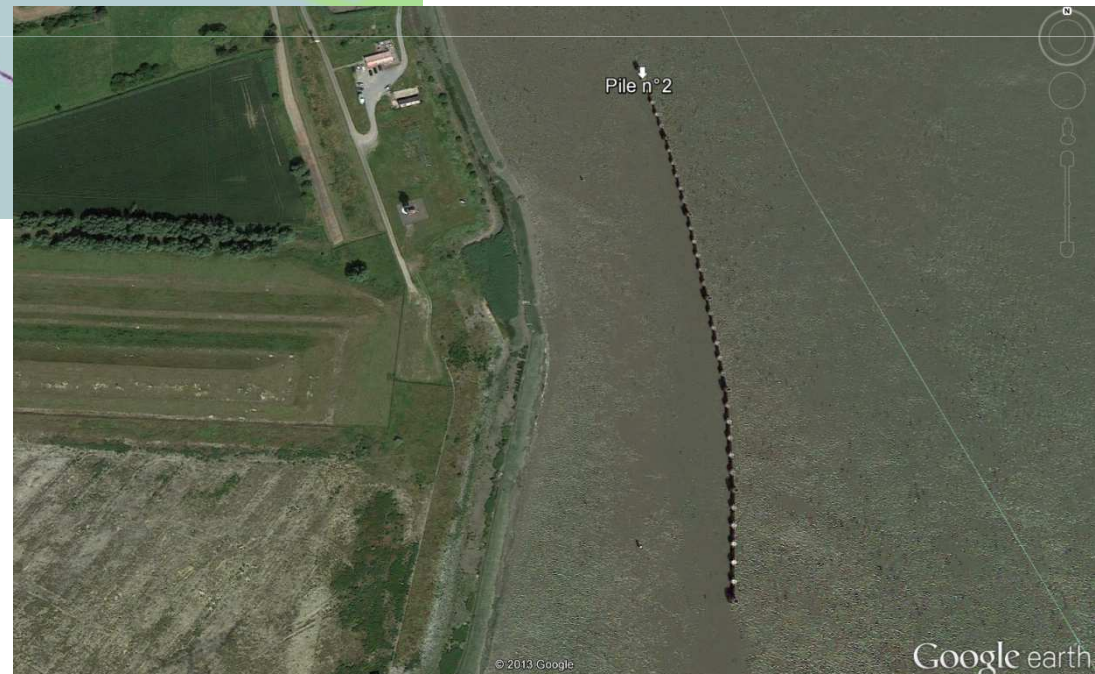
Contraintes



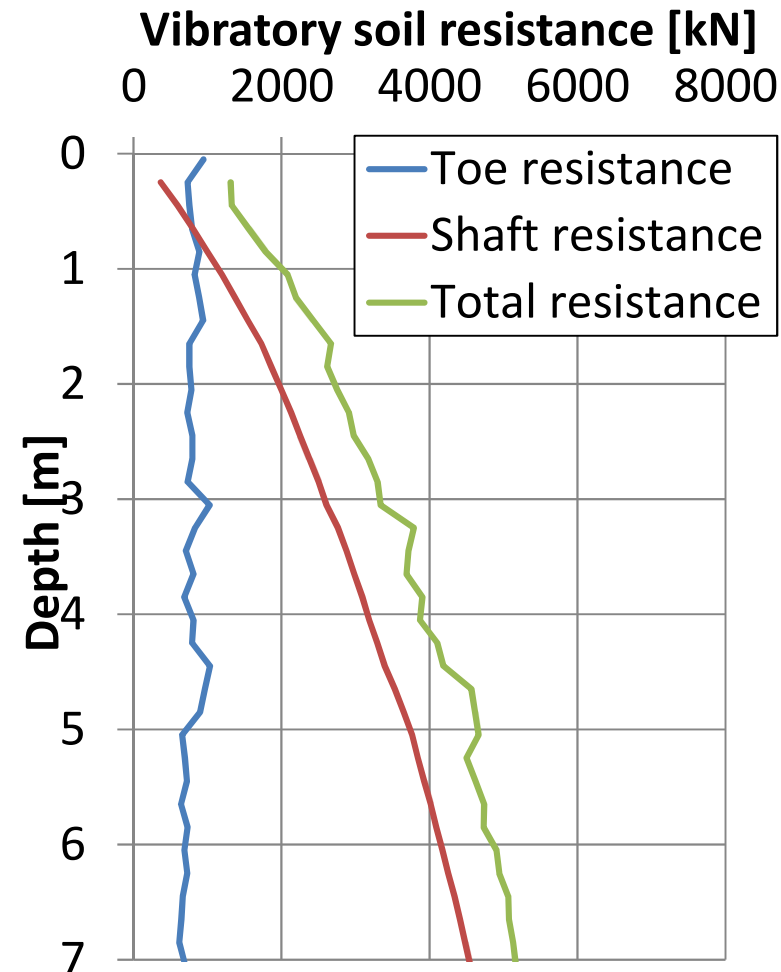
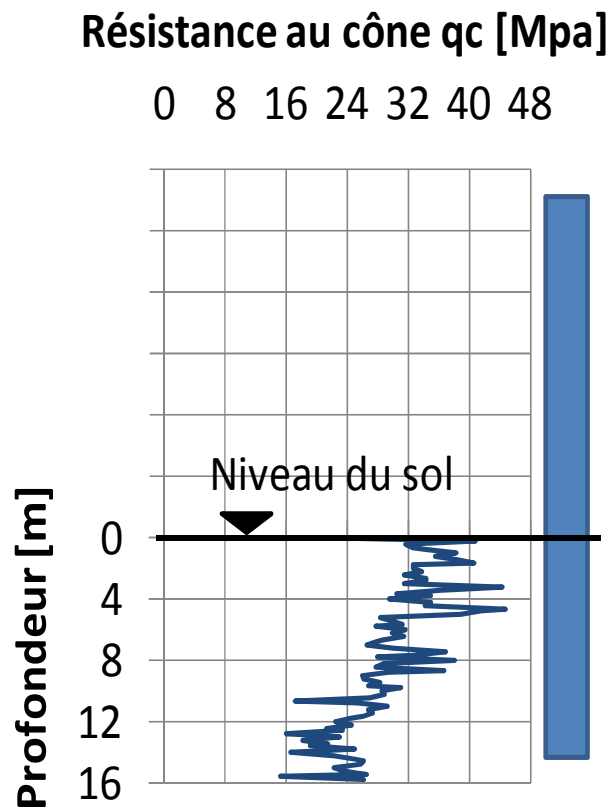
Applications (2): Deurgangdock (Anvers, Belgique)



12 tubes ouverts
Diamètre = 2.42m
Longueur = 39m
Vibrateur = PTC 265



Applications (2): Deurgangdock (Anvers, Belgique)



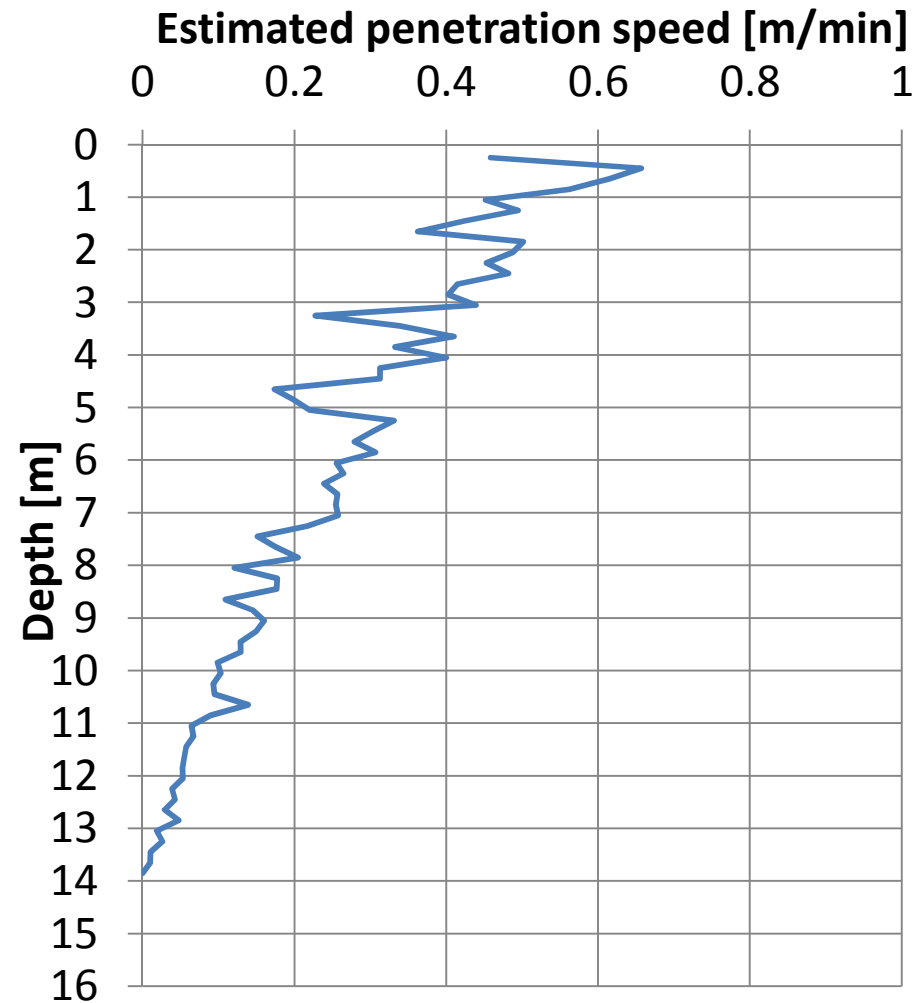
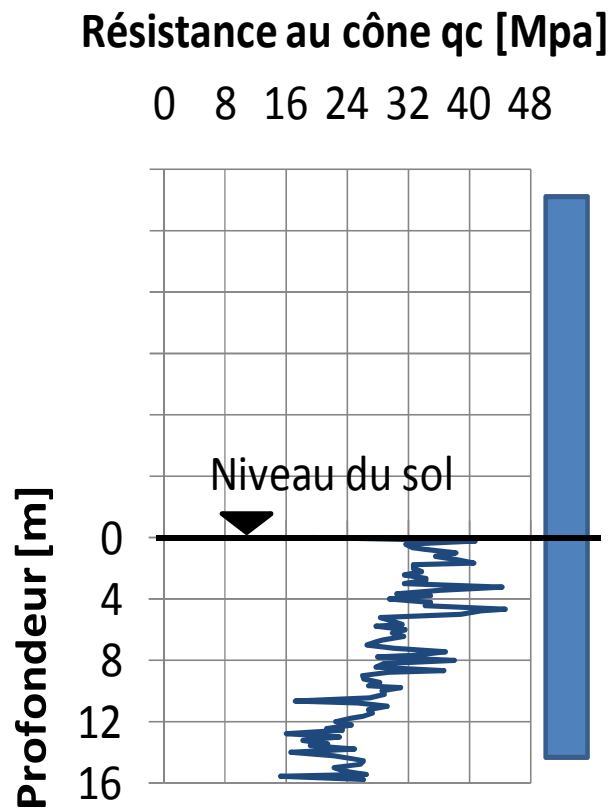
Pieux: L=39m, D=2.42m

Vibrateur: PTC 265

$$\tau_l = \tau_s \cdot \left((1 - 1/\Lambda) \cdot e^{-c_s \cdot 100/FR} + 1/\Lambda \right)$$

$$\tau_d = (\tau_s - \tau_l) \cdot e^{-a_p/g} + \tau_l$$

Applications (2): Deurgangdock (Anvers, Belgique)



Pieux: L=39m, D=2.42m

Vibrateur: PTC 265

$$v_{pen} = K_{ap} \cdot (K_{\downarrow}^2 - K_{\uparrow}^2) \cdot (v_p - v_{min,H1})$$

Applications (2): Deurgangdock (Anvers, Belgique)



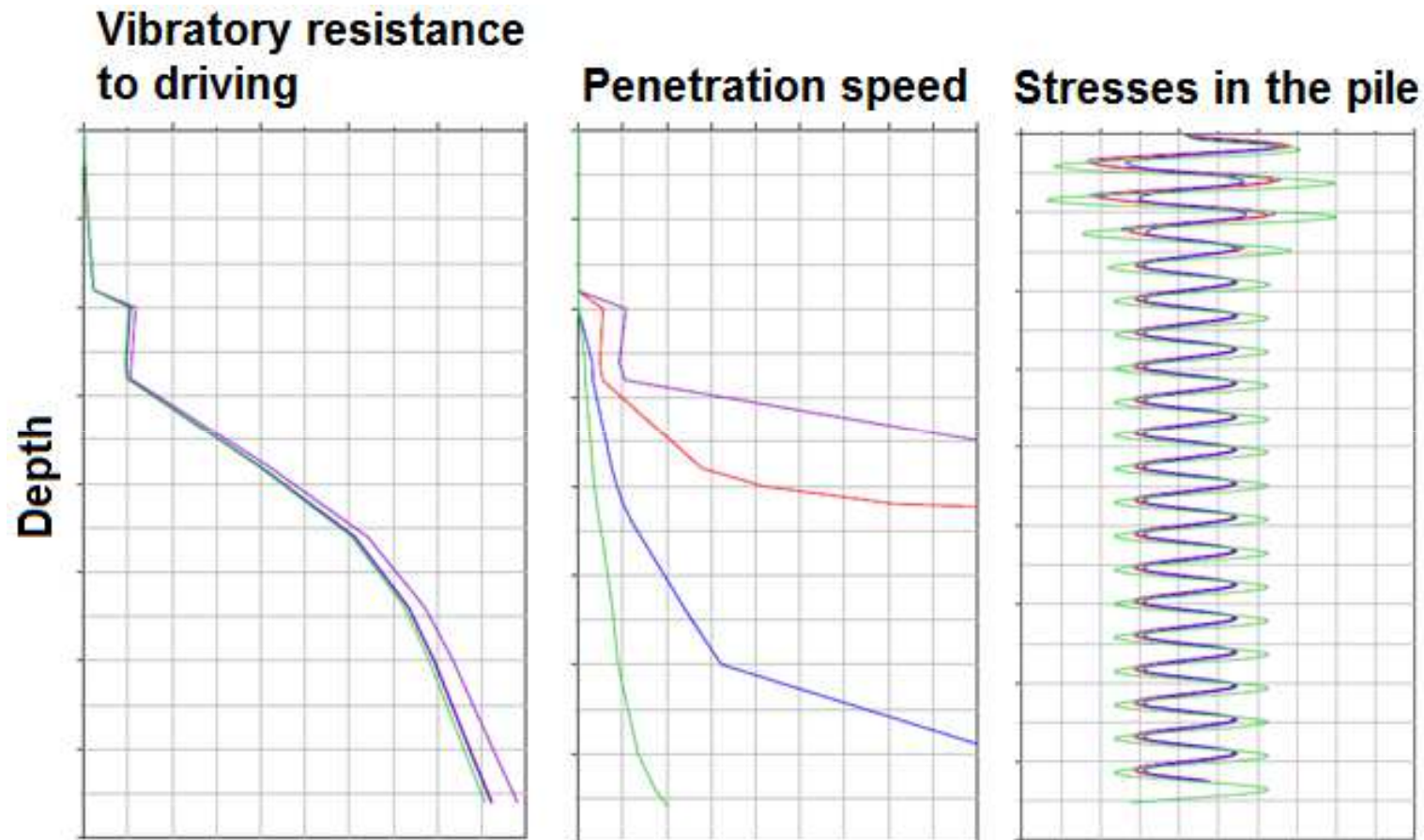
Comparaison avec résultats

pile n°	Refusal depth [m]		Driving time [min]	
	estimated	measured	estimated	measured
2	14	17	150	120
3	14	10	150	360
4	14	17	150	70
5	14	17	150	153
7	14	17	150	50



Modèle conservatif pour des pieux de grand diamètre

Applications (3): projets offshore



Retour d'expérience?
Solution numérique pour le calcul des contraintes

Conclusions

- Applications Onshore & Nearshore
 - Règles simplifiées en première approche
 - Modèle Hipervib
 - ➡ Domaine d'application étendu aux argiles Et sole non saturés
 - ➡ Validation expérimentale
- Applications Offshore
 - Intérêt grandissant pour des motivations environnementales
 - ➡ Manque de validation expérimentale

