



# Demi-Journée CFMS 14 Mars 2007 « Colonnes ballastées »

Le point de vue du  
Contrôleur Technique

Patrick BERTHELOT  
[patrick.berthelot@fr.bureauveritas.com](mailto:patrick.berthelot@fr.bureauveritas.com)



BUREAU  
VERITAS

Dans l'intérêt des entreprises et des Hommes

Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

## NF P 03-100 (09/1995) : Critères généraux pour le contrôle technique à la prévention des aléas techniques dans le domaine de la construction.

La notion de contrôle technique implique l'existence d'un objet à contrôler et d'un référentiel par rapport auquel s'exerce ce contrôle.

### Référentiel

Constitué par les dispositions techniques concernées par

**la mission de contrôle** et figurant dans les documents relatifs au domaine de la construction.

- Normes françaises
- D.T.U.
- Règles professionnelles

**Les missions de base**

**L + S**



Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

## Mission L (Légale) = solidité

Les aléas techniques à la prévention desquels le C.T. contribue au titre de la mission L sont ceux qui découlant de **défauts dans l'application des textes techniques réglementaires ou normatifs** sont susceptibles de compromettre la solidité de la construction achevée...

La mission L porte sur les ouvrages d'éléments d'équipements suivants :

-les ouvrages de VRD

**-les ouvrages de fondation**

-les ouvrages d'ossature

-.....

Les ouvrages de fondation relèvent :

**-des normes et DTU dont**

➤ **NFP 11-211 (DTU 13.1) fondations superficielles**

➤ **NFP 11-212 (DTU 13.2) fondations profondes**

**-des règles professionnelles dont**

Recommandations CFMS sur les colonnes ballastées  
Murs et écrans de soutènement (Mur 73, Guide UTI.....)



Colonne ballastée : le point de vue du contrôleur technique

- ▶ NFP 11-212 (DTU 13.2) Fondations profondes pour le bâtiment- septembre 1992

## ✓ Chapitre 1                      1.11 Domaine d'application

Les colonnes ballastées (chapitre 8) et les picots (chapitre 9) sont rattachés provisoirement au présent DTU dans l'attente d'un DTU relatif aux procédés de consolidation des sols.

### Commentaire :

Les « colonnes ballastées » et les « picots » peuvent avoir chacun l'une des deux fonctions suivantes :

- éléments de fondation porteurs et calculés comme tels;
- consolidation et amélioration du sol destiné à recevoir une fondation superficielle.

- ▶ Recommandations sur la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des colonnes ballastées sous bâtiments et ouvrages sensibles au tassement, R.F.G. n° 111, 2<sup>ème</sup> trimestre 2005

### Résumé :

Le présent document vise à modifier et à compléter le chapitre 8 de la norme NFP 11-212 (référence DTU 13.2 « Fondations profondes pour le bâtiment »)



## Pour le calcul de projet

il doit être défini :

- ▶ **Pour les ouvrages de fondations superficielles**
  - ▶ **La contrainte de calcul  $q$**   
*la plus petite des 2 valeurs  $q_u/2$  (valeur ultime de la réaction du sol) et de celle qui dispense de tenir compte des tassements différentiels dans la structure.*
  - ▶ **Les valeurs de tassement**
- ▶ **Pour les ouvrages de fondations profondes (et assimilés)**
  - ▶ Le frottement latéral  $Q_s$
  - ▶ La résistance de pointe  $Q_p$
  - ▶ **L'étreinte latérale  $\sigma_h$**
  - ▶ Le module  $K_f$
- ▶ **Pour les ouvrages de soutènements**
  - ▶ L'angle de frottement  $\varphi$
  - ▶ La cohésion  $C$
  - ▶ La densité  $\gamma$
  - ▶ L'eau

Toutes ces valeurs sont fonction d'un élément : **Le SOL**

- Améliorer la portance et la stabilité
- **Diminuer [et/ou anticiper] les tassements prévisibles**
- Diminuer les risques de liquéfaction en cas de séismes

Pour

- Éviter les purges et substitutions de mauvais sols
- **Éviter des fondations profondes** (économie sur les fondations (?) mais aussi sur la structure : coût d'un plancher porté >> coût d'un dallage)
- **Gagner du temps**

TYPES DE SOL	Argiles très molles vases – tourbes	Argiles – limons compressibles	Remblais fins	Sables / graviers	Cailloux Remblais à blocs
<b>METHODES DE TRAITEMENT</b>	PRECHARGEMENT + DRAINAGE				
		PLOTS BALLASTES PILONNES (si épaisseur < 7 m)			
			COMPACTAGE DYNAMIQUE		
		INCLUSIONS RIGIDES			VIBROFLOT.

## Les caractéristiques du sol à améliorer

- Nature du sol (granulométrie)
  - Cohérent
  - Granulaire
  - Blocs
- **Absence/ Présence de matières organiques**
- Teneur en eau et position de la nappe
- Épaisseur de mauvais sol à traiter

## Les caractéristiques de l'ouvrage à fonder

- Charges ponctuelles /réparties
- Sensibilité aux tassements

## l'environnement du chantier

- Proximité d'ouvrages existants sensibles

## Le temps disponible pour la consolidation

Intensité du tassement sur le sol en place sans renforcement



## ☐ NFP 11-212 (DTU 13-2)

### Chapitre 8 : Colonnes ballastées § 8.1 caractéristiques

#### Commentaire

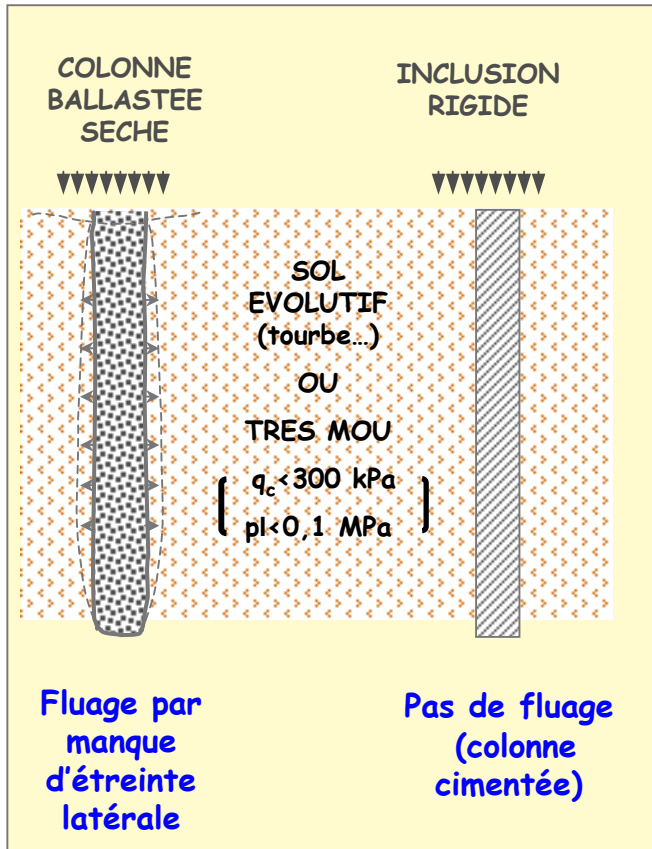
Les colonnes ballastées reportent les charges à travers une couche de sol de **qualité médiocre**, sur une couche sous-jacente plus résistante. Elles ne fonctionnent que grâce à la réaction **d'étreinte latérale** qui peut être fournie par **la couche de qualité médiocre traversée** et le mécanisme de transfert peut être assimilé à celui d'un échantillon pulvérulent placé dans l'appareil triaxial.

## ☐ Recommandations CFMS

### § 2.3 limites d'utilisation sous structures sensibles aux déformations.

Les colonnes ballastées ne doivent pas être utilisées dans des terrains présentant des risques de perte dans le temps des caractéristiques volumétriques et/ou mécaniques, notamment **les décharges d'ordures ménagères, les tourbes** et, de manière générale, les sols présentant une perte au feu supérieure à 5% , au sens de la norme XP 94-047.

Les sols fortement compressibles (**vases et argiles molles**) d'épaisseur supérieure à 0,50 m et présentant des caractéristiques faibles ( **$c_u < 20 \text{ kPa}$  ou  $q_c < 300 \text{ kPa}$** ) nécessiteront une étude particulière et des dispositions constructives spécifiques : par exemple, **préchargement, consolidation**.

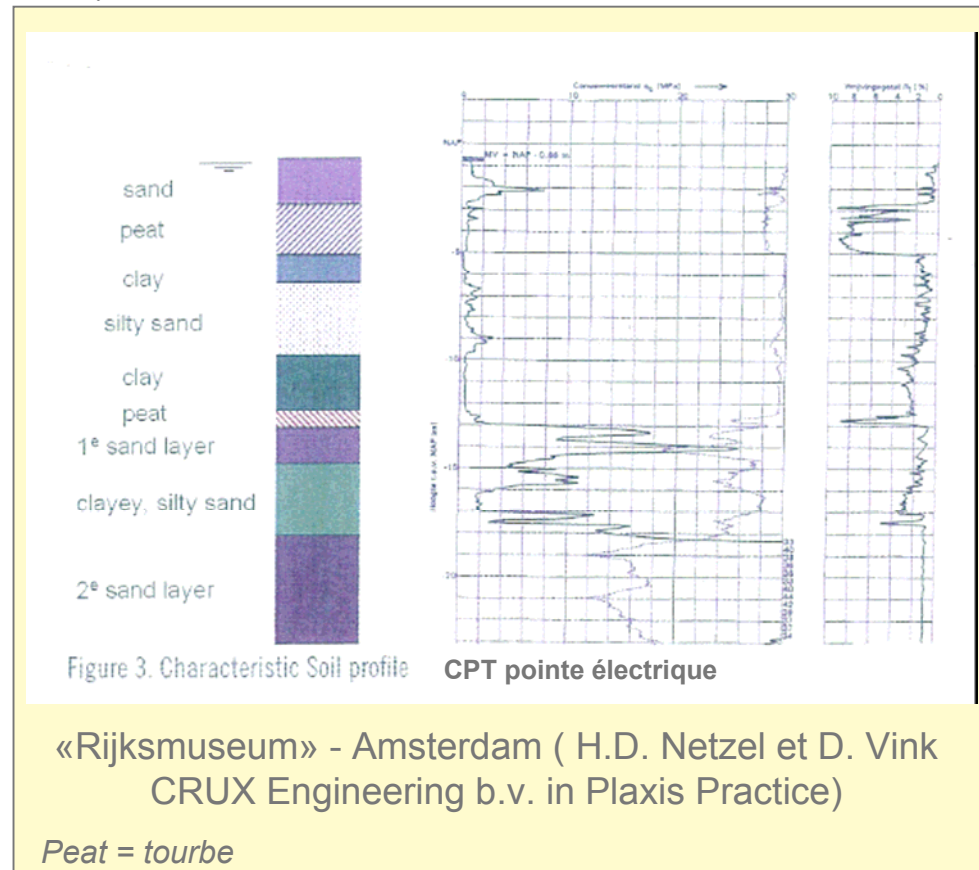


Fluage par manque d'étreinte latérale

Pas de fluage (colonne cimentée)

Dans le cadre de la définition des caractéristiques de projet, la reconnaissance de sol doit être adaptée pour, au moins répondre au § 2.3 des Recommandations CFMS par exemple :

- Sondages carottés avec description détaillée et essais d'identification (teneur en eau, densité...) + prélèvement d'échantillons intacts
- [Sondages pressiométriques]
- Sondages au pénétromètre statique  
CPT, CPT pointe électrique, CPTU  
 $q_c$  ou  $q_T$  (MPa),  $f_s$  (MPa),  $FR$  (%)  
+ abaque de ROBERTSON



**NF P94-500**

Etape	Phase de réalisation de l'ouvrage	Mission d'ingénierie géotechnique	Objectifs en termes de gestion des risques géologiques	Prestations d'investigations géotechniques
1	Etude préliminaire Etude d'esquisse	Etude géotechnique préliminaire de site (G11)	Première identification des risques	Si nécessaire
	Avant projet	Etude géotechnique d'avant projet (G12)	Réduction des risques majeurs	obligatoire
2	Projet	Etude géotechnique de projet (G2)	Réduction des risques importants	Si nécessaire
	Assistance Contrat Travaux			
3	Exécution	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3)	Réduction des risques résiduels	Si nécessaire
		Supervision géotechnique d'exécution (G4)		
	Etude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques	Diagnostic géotechnique (G5)	Analyse des risques liés à ce ou ces éléments géotechniques	Si nécessaire

**Type G2  
(au moins)  
+**





Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

- ▶ **Avis du géotechnicien**
- ▶ **Note de calcul de l'entreprise spécialisée :**

**contraintes/tassements pour 2 cas :**

- sous dallage
  - sous semelles
- ↪ diamètres usuels entre 50 et 80 cm
  - ↪ courbes granulométriques du ballast définies
  - ↪ maille maximale 9 m<sup>2</sup> + taux de substitution > 3 %  
entraxe maximal sous semelle filante (1 seule rangée) : 2,50 m
  - ↪ contrainte admissible dans la colonne  
 $q_a = \text{Min}(0,8 \text{ MPa} ; q_{re}/2)$
  - ↪  $E_c$  de l'ordre de 60 MPa
  - ↪ matelas de répartition > 40 cm épaisseur



Colonnes ballastées : le point  
de vue du contrôleur technique

<b>Paramètre à surveiller</b>	<b>Techniques de mesure</b>
<b>Profondeur des colonnes</b>	Mesure directe de la pénétration du vibreur
<b>Taux d'incorporation</b>	Mesures du volume de ballast incorporé
<b>Diamètre des colonnes (en tête)</b>	Essai de dégarnissage
<b>Compactage du ballast en cours d'exécution</b>	Suivi de l'énergie dissipée par le vibreur (pression hydraulique ou consommation électrique)
<b>Caractéristiques mécaniques des colonnes</b>	Essai in situ dans la colonne (pénétromètre statique)
<b>Portance d'une colonne</b>	Essai de chargement



## ▶ Contrôle et réception

- en cours d'exécution
  - » essais d'étalonnage,
  - » essais d'information,
  - » attachements
- essais de réception
  - » contrôle du diamètre de la colonne,
  - » contrôle de la continuité en cas de défaut d'enregistrement,
  - » contrôle de la compacité,
  - » essai de chargement.

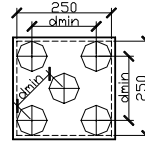
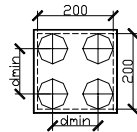
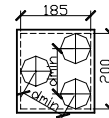
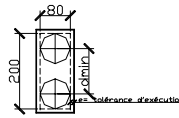
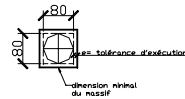
	EAU		AIR	
	Avec enregistrement	Sans enregistrement	Avec enregistrement	Sans enregistrement
<b>Contrôle Diamètre</b>	1 par tranche de 50 colonnes jusqu'à 100, minimum 3 au-delà			
<b>Contrôle Continuité</b>	1/50	1/20	Seulement en cas d'anomalie	1/50
<b>Contrôle Compacité</b>	1/80 sous dallage + 1/20 sous massif		avec un minimum de 5	
<b>Essai Chargement*</b>	1 essai jusque 800 m et un autre par tranche au-delà.		1 essai jusque 2000 m et 400 colonnes et un autre au moins au-delà.	

\* Pour les chantiers de moins de 1000 m de colonnes ballastées par voie sèche (800 ml par voie humide), on peut ne pas procéder à un essai de chargement mais, dans ce cas, la contrainte admissible sera minorée d'un coefficient 1,5.

# Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

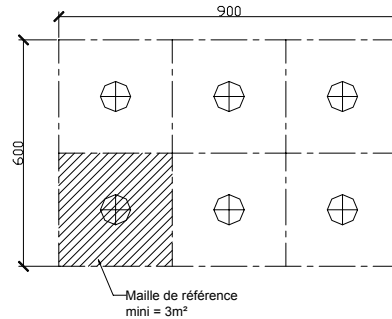
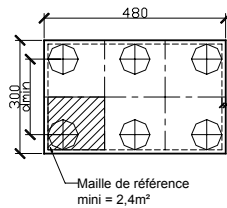
# Points importants selon Recommandations CFMS

## DE 1 A 5 COLONNES

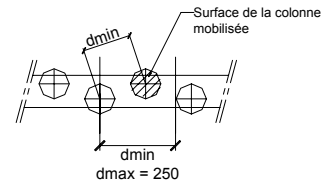
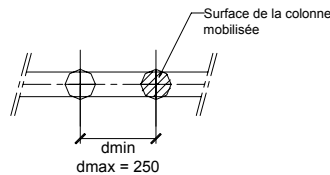


Remarque :  
 Sans justifications particulières, le débord de la semelle vis à vis du nu extérieur Théorique de la colonne doit être au moins égal à la tolérance d'exécution (e=20cm en général) et limité au maximum à 40 cm

## 6 COLONNES ET PLUS



## SEMELLE FILANTE



Il est recommandé d'implanter les colonnes en quinconce afin de ne pas créer de dissymétrie en cas d'excentrement



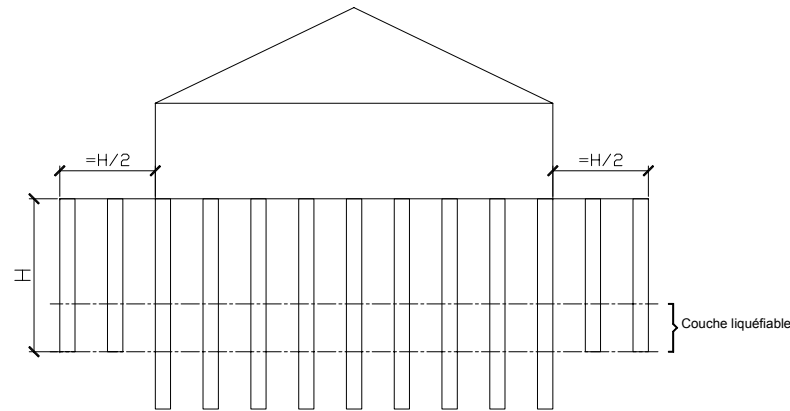
Colonnnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

## ▶ Colonnnes ballastées en zone sismique

§ 2.2 : "elles peuvent être utilisées en zone sismique où elles peuvent contribuer à la diminution du potentiel de liquéfaction des sols : L'annexe I reprend les dispositions à appliquer dans ce cas"

Annexe I :

- » l'augmentation du taux de substitution minimal est adapté pour obtenir l'amélioration, d'une part, de la densité relative requise pour la prévention du risque de liquéfaction et, d'autre part, de la résistance au cisaillement,  
*(en général obtenue par resserrement de la maille)*
- » le débord de traitement est de une rangée au minimum avec un nombre de rangées tel qu'il y a des colonnes sur une largeur de débord égale à la moitié de la profondeur de la base de la couche sensible au séisme,

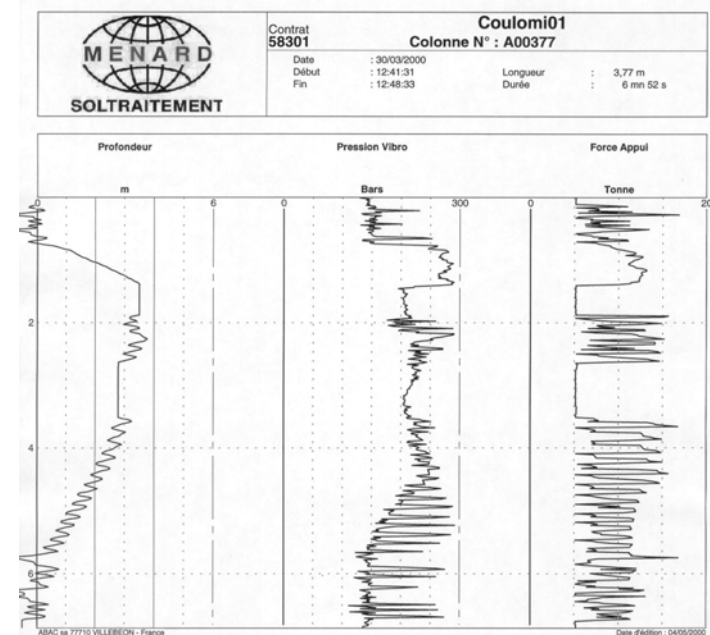


- » l'épaisseur du matelas de répartition granulaire est au minimum égale à 60 cm entre sous-face des radiers ou dallage et têtes de colonnes, pour faciliter la dissipation des pressions interstitielles.



Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

## Enregistrement et essai (d'après MÉNARD-SOLTRAITEMENT)



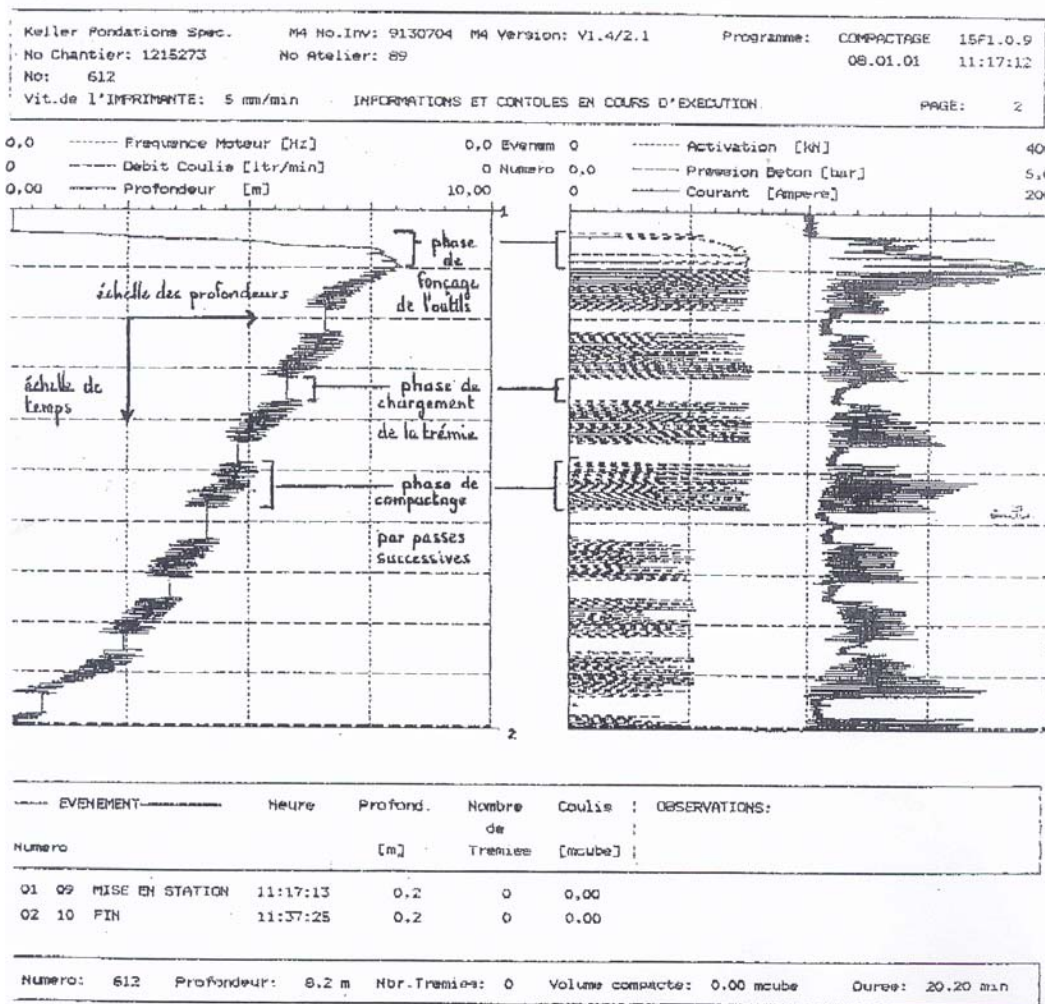
### Enregistrement des paramètres d'exécution



### Essai de chargement



Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique



Enregistrement "PAPIER" (d'après KELLER)

Présentations plus explicites et plus homogènes



Représentativité d'un essai statique de chargement





En forme de conclusion

Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

- Mission type **G2** } du géotechnicien
- + type **G4** }
- Application des Recommandations CFMS  
(prédimensionnement, exécution, contrôle, zone sismique.....)

- ➔ **Absence de matériaux organiques**
- ➔ Profondeur < 10 m. [4,00 à 8,00 m.]
- ➔ Maillage
  - ▣ 1,20 X 1,20 mini à 3,00 X 3,00 m. maxi
  - ▣ espacement entre colonnes 1,20 m. mini à 2,50 m. maxi
- ➔ Diamètre 0,60 à 0,80 m.                       $E_{col} = 60 \text{ MPa}$  ( $\equiv$  module de sol)
- ➔  $q_{adm} = 2 \cdot p_l \leq 0,8 \text{ MPa}$  } ➔ 20 à 25 t. maxi par colonne  
     ou  $q_c/2 \leq 0,8 \text{ MPa}$  }
- ➔ Divise le tassement **seulement** par **2** (1,5 à 3)  
     ➔ **Les colonnes ballastées ne remplacent pas les pieux**



Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

## Répartition de la charge entre Inclusions et Sols

Inclusions Souples

Colonnes Ballastées

50 % .IS / 50% .S

Si **15** cm. de tassement initial

sans renforcement

**7,5** cm.

Inclusions Semi-Rigides à Rigides

CMC-CBI- Jet grouting-Pieux

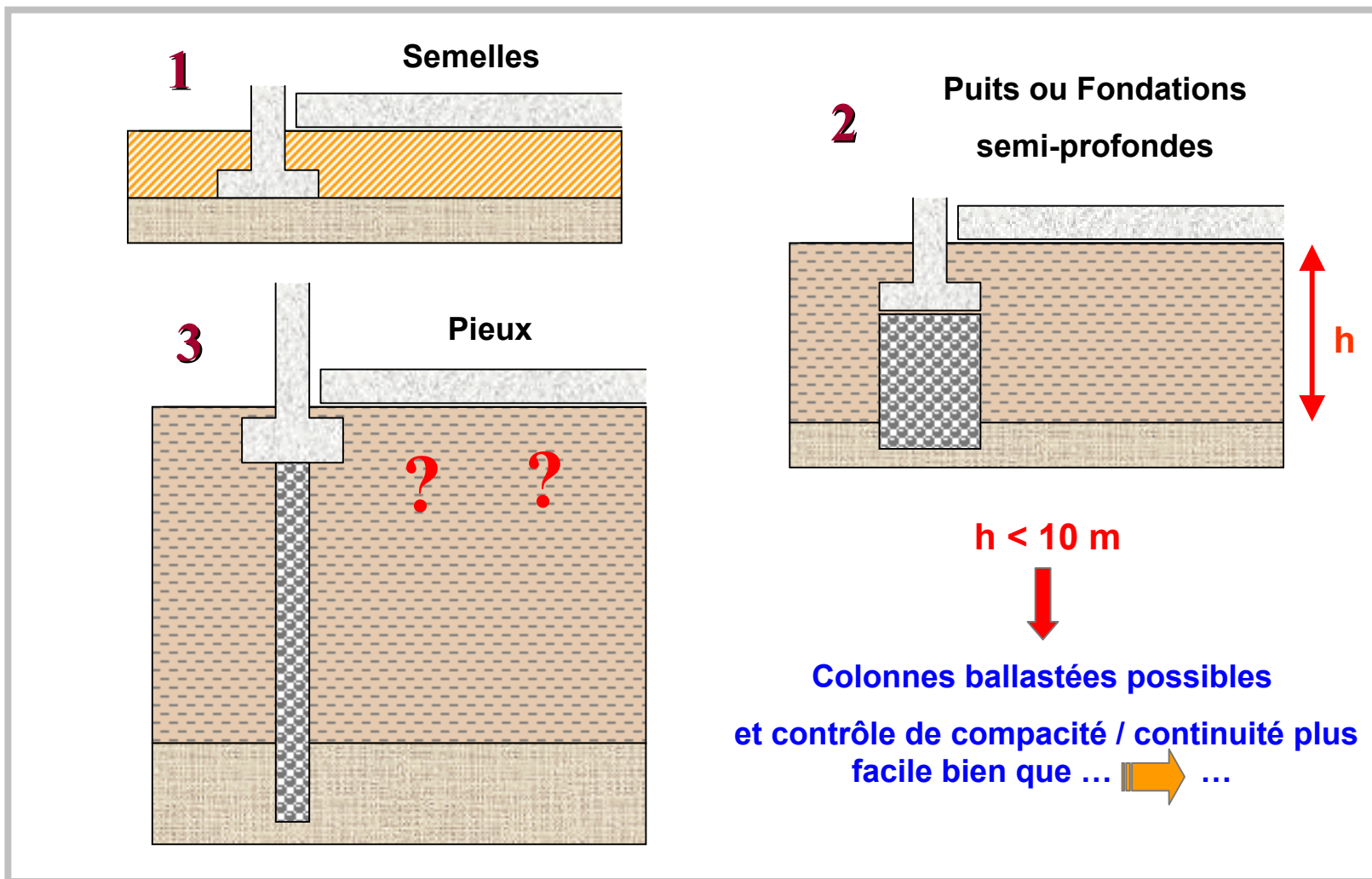
80 % .IR / 20% .S

**3** cm.



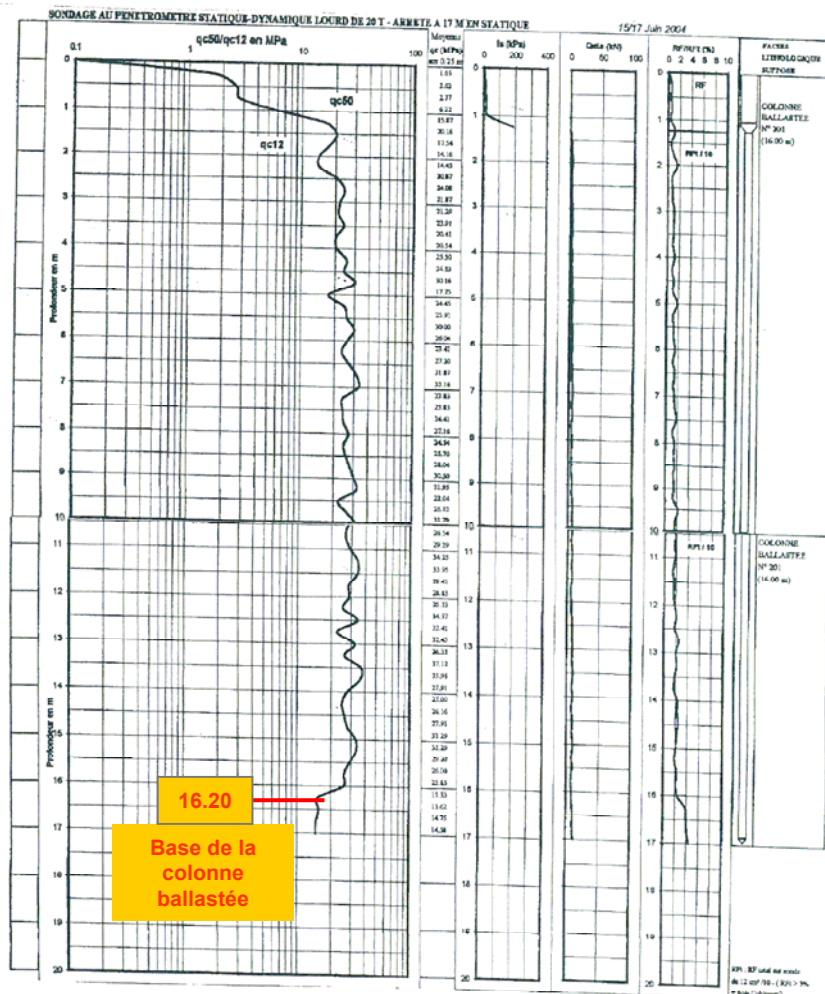


Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique



Colonnes ballastées : le point de vue du contrôleur technique

La technique progresse et les limites sont toujours repoussées !!!!



Conclusion de la conclusion

« Il n'y a de certitudes qu'en mathématiques, les autres sciences cherchent à quantifier le probable »

Jacques Ternier, Physicien

