



Séance technique du Comité français de mécanique des roches

«*Géotechnique des Roches  
et Méthodologie des conceptions*»

Paris, 2 décembre 2010



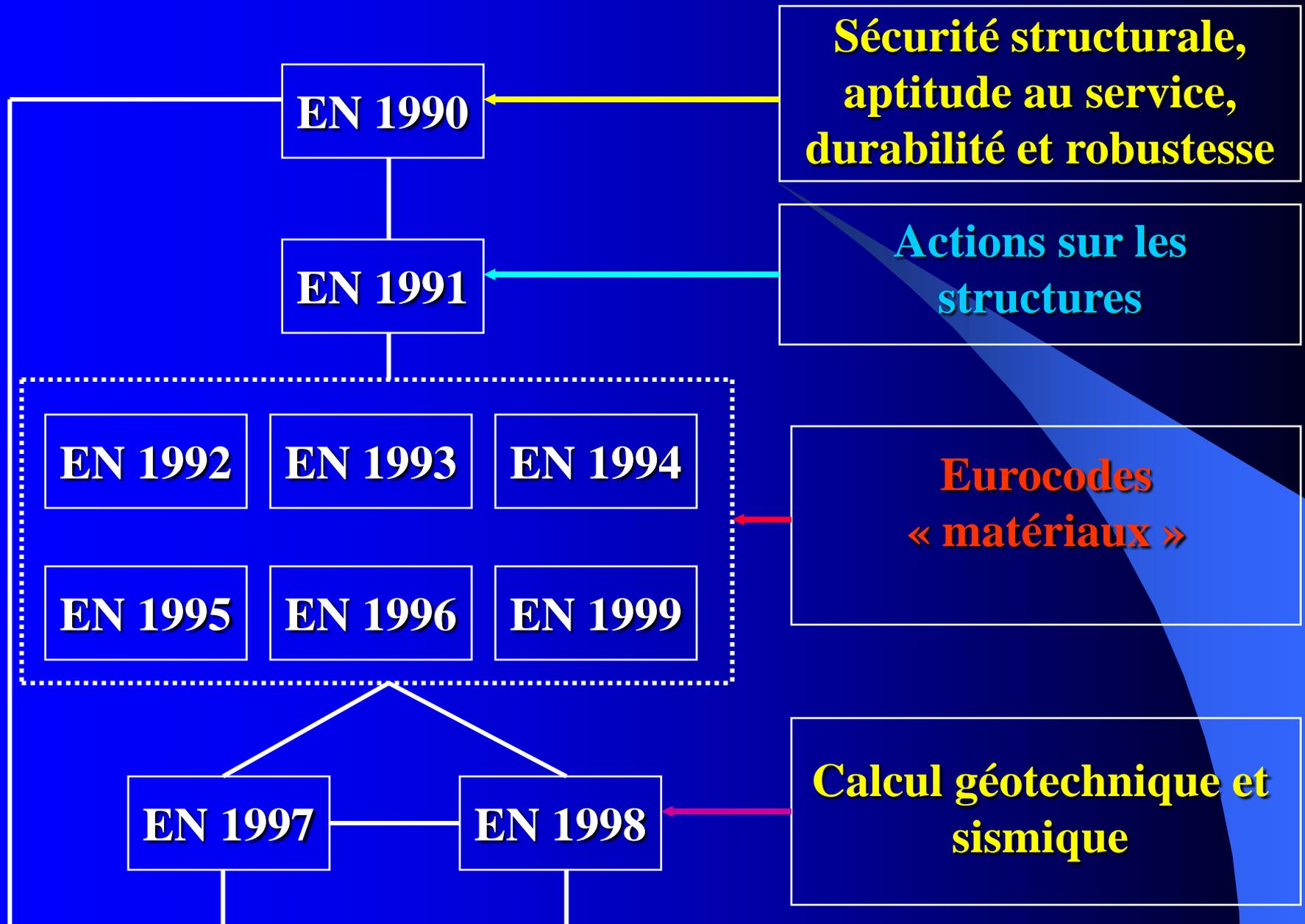
# Euronormes et Mécanique des Roches

Roger Frank  
Ecole des ponts ParisTech  
UR Navier, CERMES

1. L' Eurocode 7 'Calcul Géotechnique'
2. Les normes d'essais (TC 341)
3. Les normes de travaux (TC 288)

# 1. L'Eurocode 7 « Calcul géotechnique »

# LES EUROCODES STRUCTURAUX



- EN 1990**      **Eurocode**    : **Bases de calcul des structures**
- EN 1991**      **Eurocode 1** : **Actions sur les structures**
- EN 1992**      **Eurocode 2** : **Calcul des structures en béton**
- EN 1993**      **Eurocode 3** : **Calcul des structures en acier**
- EN 1994**      **Eurocode 4** : **Calcul des structures mixtes acier-béton**
- EN 1995**      **Eurocode 5** : **Calcul des structures en bois**
- EN 1996**      **Eurocode 6** : **Calcul des structures en maçonnerie**
- EN 1997**      **Eurocode 7** : **Calcul géotechnique**
- EN 1998**      **Eurocode 8** : **Calcul des structures pour leur  
résistance aux séismes**
- EN 1999**      **Eurocode 9** : **Calcul des structures en alliage  
d'aluminium**

# Structure générale de l'Eurocode 7

- EN 1997-1 : Calcul géotechnique - Règles générales

(publié en juin 2005 par l'AFNOR, Annexe Nationale publiée en septembre 2006 par l'AFNOR)

- EN 1997-2 : Calcul géotechnique - Reconnaissance des terrains et essais

(publié en septembre 2007 par l'AFNOR)

*regroupe ENV 1997-2 : Calcul sur la base d'essais de laboratoire et ENV 1997-3 Calcul sur la base d'essais en place*

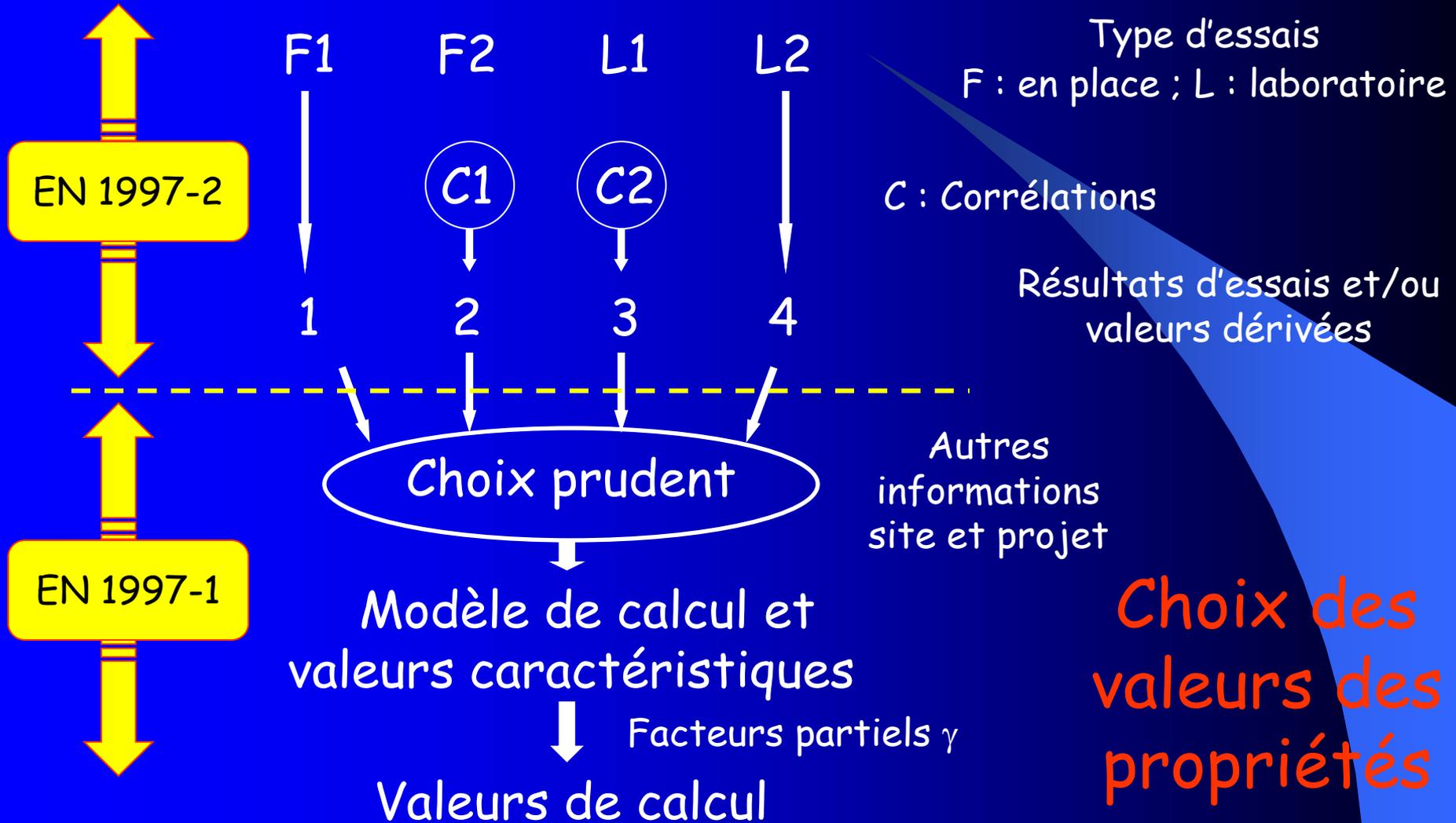
# L'objet de l'Eurocode 7

*EN 1997-1 est consacrée exclusivement aux règles fondamentales du calcul géotechnique et pourra être complétée par des normes nationales*

*EN 1997-2 est consacrée aux exigences essentielles pour les appareillages et les procédures d'essais, pour la présentation des résultats, et pour l'interprétation des paramètres mesurés  
Elle donne des exemples sur la manière de déduire des valeurs de paramètres géotechniques*

# Relation « EN 1997-1 avec EN 1997-2 »

## Article 1.7 de la norme EN 1997-2



# EN 1997 Partie 1 - Table des matières

Section 1 - Généralités

Section 2 - Bases du calcul géotechnique

Section 3 - Données géotechniques

Section 4 - Surveillance de l'exécution  
des travaux, suivi et entretien

Section 5 - Mise en œuvre des remblais,  
rabattement de nappe et  
renforcement des terrains

# EN 1997 Partie 1 - Table des matières (suite)

Section 6 - Fondations superficielles

Section 7 - Fondations profondes

Section 8 - Ancrages

Section 9 - Ouvrages de soutènement

Section 10 - Rupture d'origine hydraulique

Section 11 - Stabilité d'ensemble

Section 12 - Remblais

# Quelques aspects de l'Eurocode 7-1

- Catégories géotechniques
- Valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques
- États-limites ultimes : les 3 approches de calculs
- États-limites de service

# Catégories géotechniques

## section 2 - Bases du calcul géotechnique

(8) ... La complexité de chaque étude doit être identifiée

- Catégorie 1

- ouvrages petits et simples (conditions de terrain connus et simples) + risques négligeables

- Catégorie 2

- ouvrages courants + pas de risques anormaux ni de conditions de terrain et de charges inhabituelles

- Catégorie 3 (ni 1, ni 2)

- ouvrages très grands et inhabituels + risques anormaux (séisme) et/ou conditions de terrain et de charges exceptionnels....

# Valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques

## 2.4 - Dimensionnement géotechnique par le calcul

### article 2.4.5.2

- (2)P La valeur caractéristique d'un paramètre géotechnique sera une estimation prudente de la valeur affectant l'état-limite considéré.
- (9) Si des méthodes statistiques sont utilisées pour sélectionner les valeurs caractéristiques des propriétés des terrains, il convient que ces méthodes fassent la distinction entre les échantillons locaux et régionaux et qu'elles permettent d'utiliser la connaissance a priori des propriétés de terrains analogues.
- (10) Si des méthodes statistiques sont utilisées, il convient que la valeur caractéristique soit obtenue de telle manière que la probabilité d'une valeur plus mauvaise pour l'état-limite considéré ne soit pas plus grande que 5%.

# Etats-limites ultimes

## 2.4 - Dimensionnement géotechnique par le calcul

### Article 2.4.7.1 Généralités

(1) P Les états-limites ultimes suivants doivent être vérifiés lorsqu'il y a lieu :

- ❖ EQUILIBRE (EQU)
- ❖ STRUCTURE (STR)
- ❖ GEOTECHNIQUE (GEO)
- ❖ SOULEVEMENT (UPL)
- ❖ HYDRAULIQUE (HYD)

EQU : perte d'équilibre statique de la structure ou du terrain

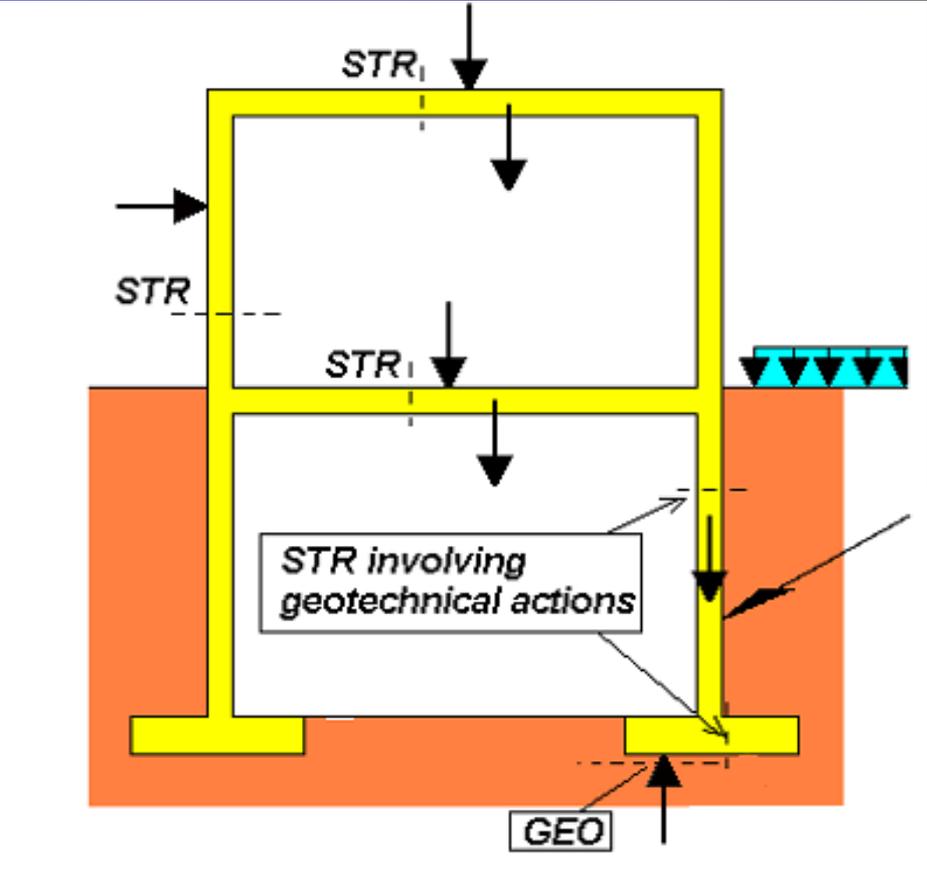
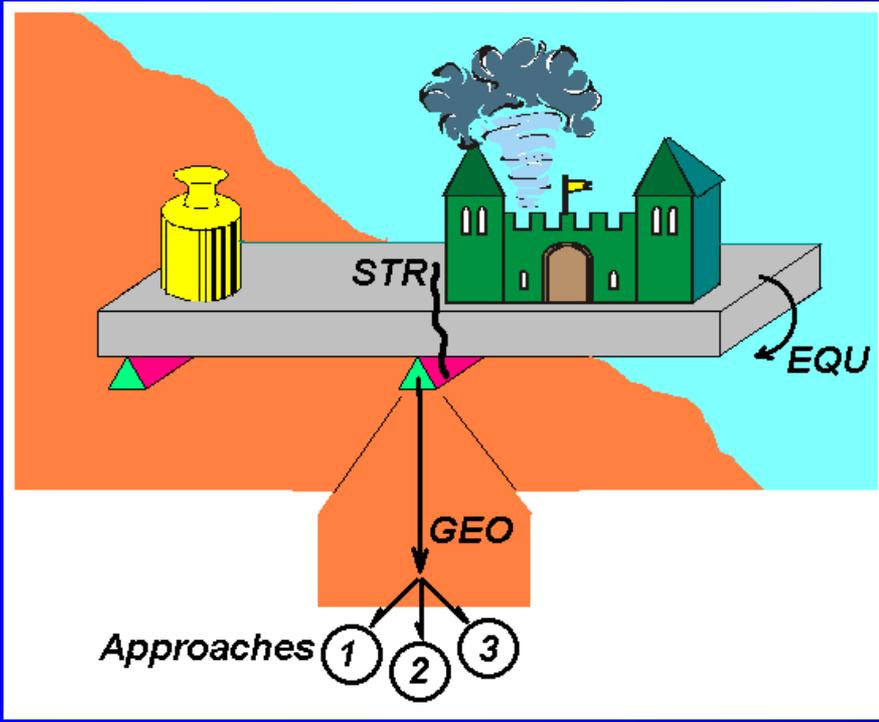
STR : rupture interne ou déformation excessive des éléments constituant la structure

GEO : rupture ou déformation excessive du terrain

UPL : rupture par soulèvement dû à des forces verticales

HYD : rupture causée par les gradients hydrauliques dans le terrain

# Etats-limites ultimes EQU et STR/GEO



$$E_d \leq R_d$$

J.A Calgario

# Les ELU Fondamentaux STR/GEO

( EN 1997-1, article 2.4.7.3.4 )

Approches	Combinaisons	Action ( $\gamma_F$ )	Symbole	Jeu A1	Jeu A2
<b>1</b>	A1 "+" M1 "+" R1	Permanente Défavorable	$\gamma_G$	1,35	1,00
	A2 "+" M2 "+" R1	Favorable		1,00	1,00
<b>2</b>	A1 "+" M1 "+" R2	Variable Défavorable	$\gamma_Q$	1,50	1,30
<b>3</b>	A1 ou A2 "+" M2 "+" R3	Favorable		0	0

## Équilibres STR & GEO

Paramètre de sol ( $\gamma_M$ )	Symbole	Jeu M1	Jeu M2
Résist. au cisaillement	$\gamma_\phi$	1,00	1,25
Cohésion drainée	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Cohésion non drainée	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Résist. non confinée	$\gamma_{qu}$	1,00	1,40
Masse volumique	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00

Résistance ( $\gamma_R$ )	Symbole	Jeu R1	Jeu R2	Jeu R3
Portance	$\gamma_{Rv}$	1,00	1,4	1,00
Glissement	$\gamma_{Rh}$	1,00	1,1	1,00

Fondations  
superficielles

# ELU fondamentaux STR/GEO

Approche de calcul	Actions sur/de la structure	Actions et résistances géotechniques
1	$A_1$	$M_1$
	$A_2$	$M_2$ ou $R_4$
2	$A_1$	$R_2$
3	$A_1$	$M_2$

# STR/GEO : situations de projet accidentelles

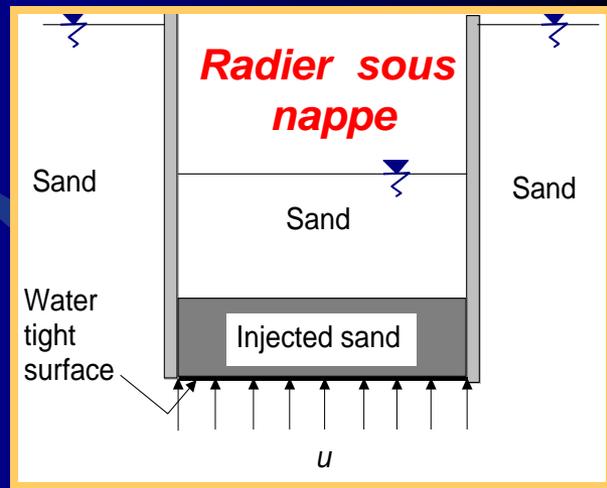
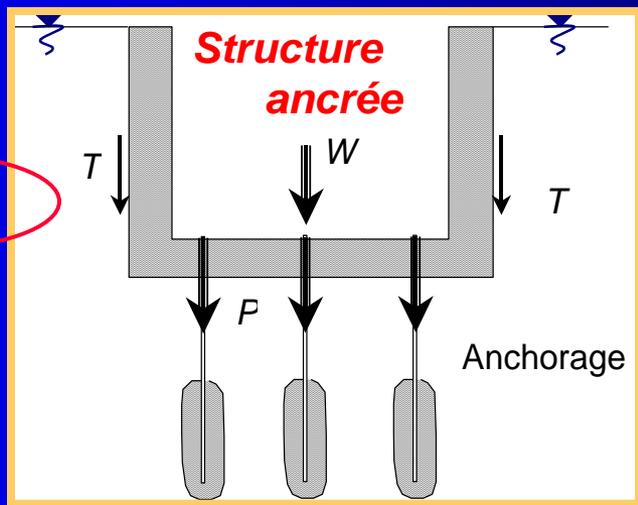
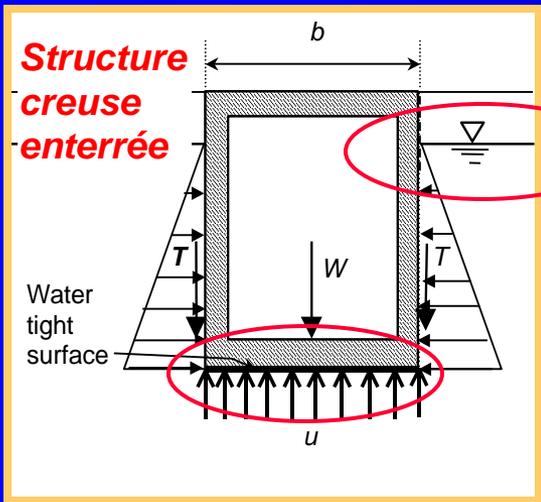
Actions : toutes valeurs de  $\gamma_F$  (et  $\gamma_M$ ) = 1.0

Résistances :

toutes les valeurs de  $\gamma_R$  (et de  $\gamma_M$ )  
dépendent des circonstances de  
l'accident particulier

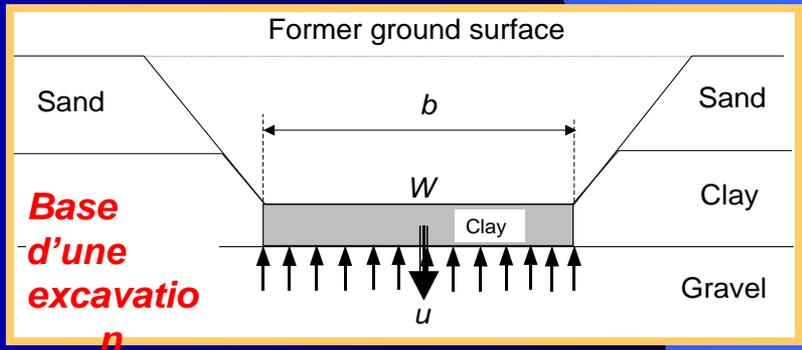
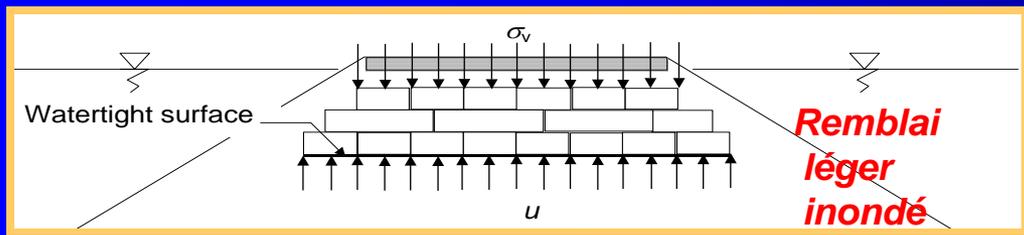
**Situations sismiques:** voir Eurocode 8-5

# Etats-limites ultimes (UPL)

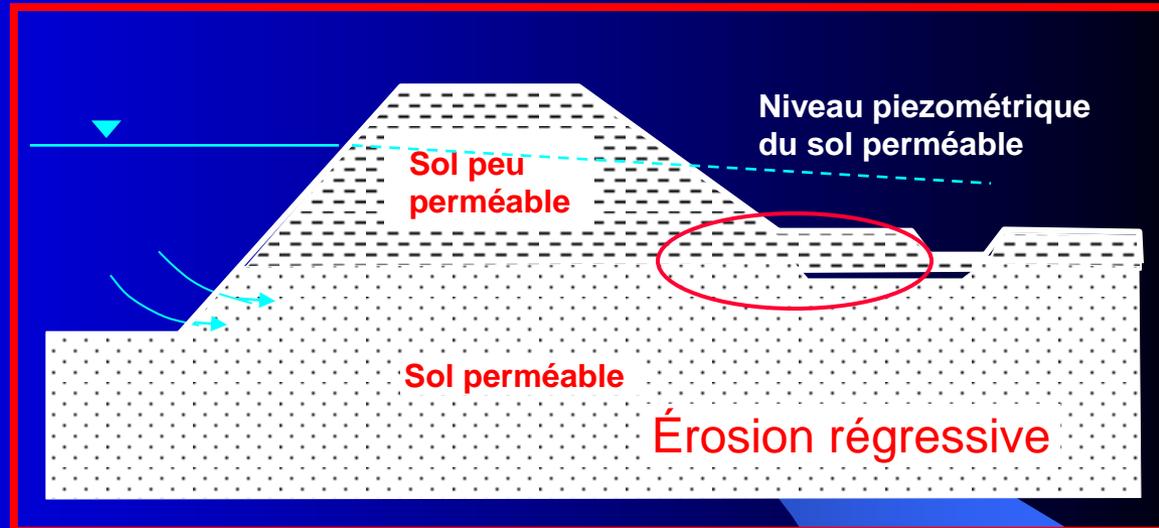
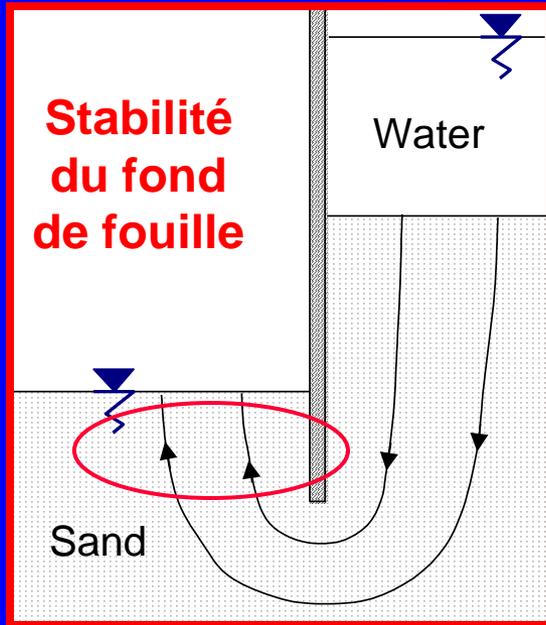


Exemples de situations où un soulèvement dû à des sous pressions hydrauliques peut être critique

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (2.8)$$



# Etats-limites ultimes (HYD)



$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (2.9a)$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (2.9b)$$

*Exemples de situations où les effets hydrauliques (soulèvement, érosion interne, érosion régressive) peuvent être critiques*

# Etats-limites de service (rappel : EN 1990)

## 6.5.1 Etats-limites de service - Vérifications

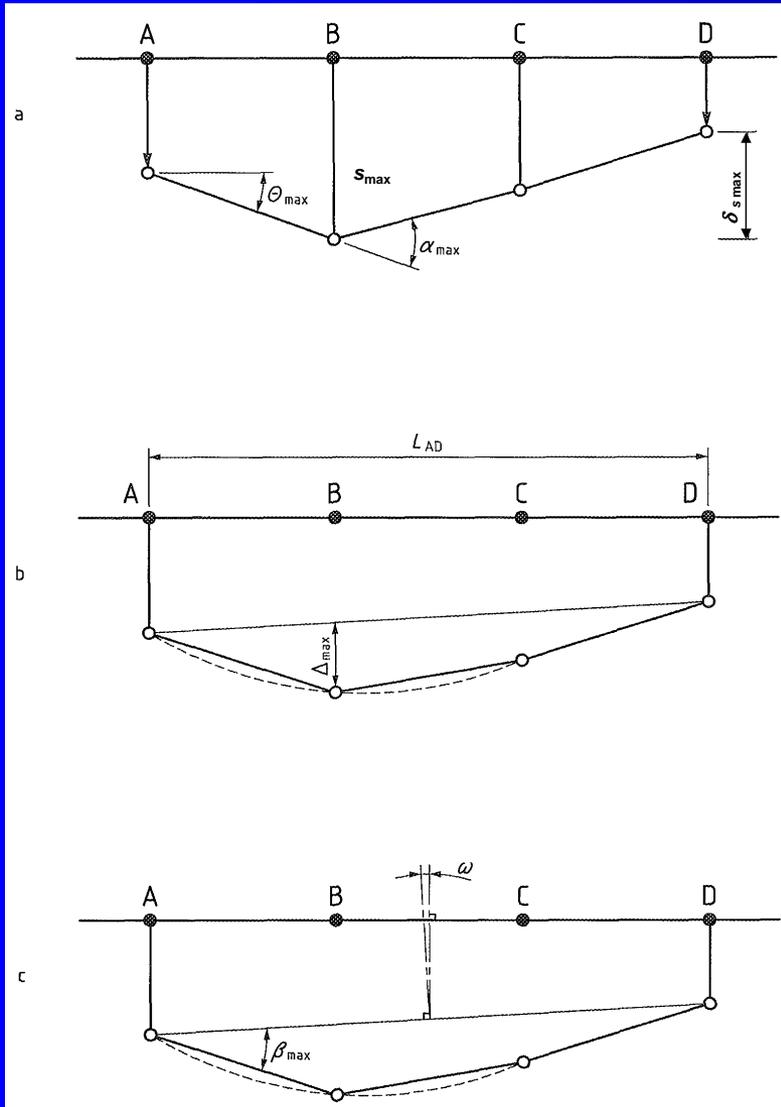
$$E_d \leq C_d$$

$C_d$  = Valeur limite de calcul du critère d'aptitude au service considéré

$E_d$  = Valeur de calcul des effets d'actions spécifiée dans le critère d'aptitude au service, déterminée sur la base de la combinaison appropriée

tous les  $\gamma_F$  et  $\gamma_M = 1.0$

# Tassements admissibles des structures



- tassement  $s$ , tassement différentiel  $\delta s$ , rotation  $\theta$  et déformation angulaire  $\alpha$

- déflexion  $\Delta$  et déflexion relative  $\Delta/L$

- inclinaison  $\omega$  et rotation relative (distortion angulaire)  $\beta$

(Eurocode 7, d'après Burland and Wroth, 1975)

# EN 1997-1 : L'Annexe A

## A - Facteurs partiels de sécurité pour les états limites ultimes (Normative)

Paramètre de sol	Symbole	valeur
Résistance au cisaillement <sup>1</sup>	$\gamma_{\varphi}$	1,25
Cohésion drainée	$\gamma_{c'}$	1,25
Cohésion non drainée	$\gamma_{cu}$	1,40
Résistance non confinée	$\gamma_{qu}$	1,40
Masse volumique	$\gamma_{\gamma}$	1,00

<sup>1</sup> Ce coefficient s'applique à  $\tan \varphi'$

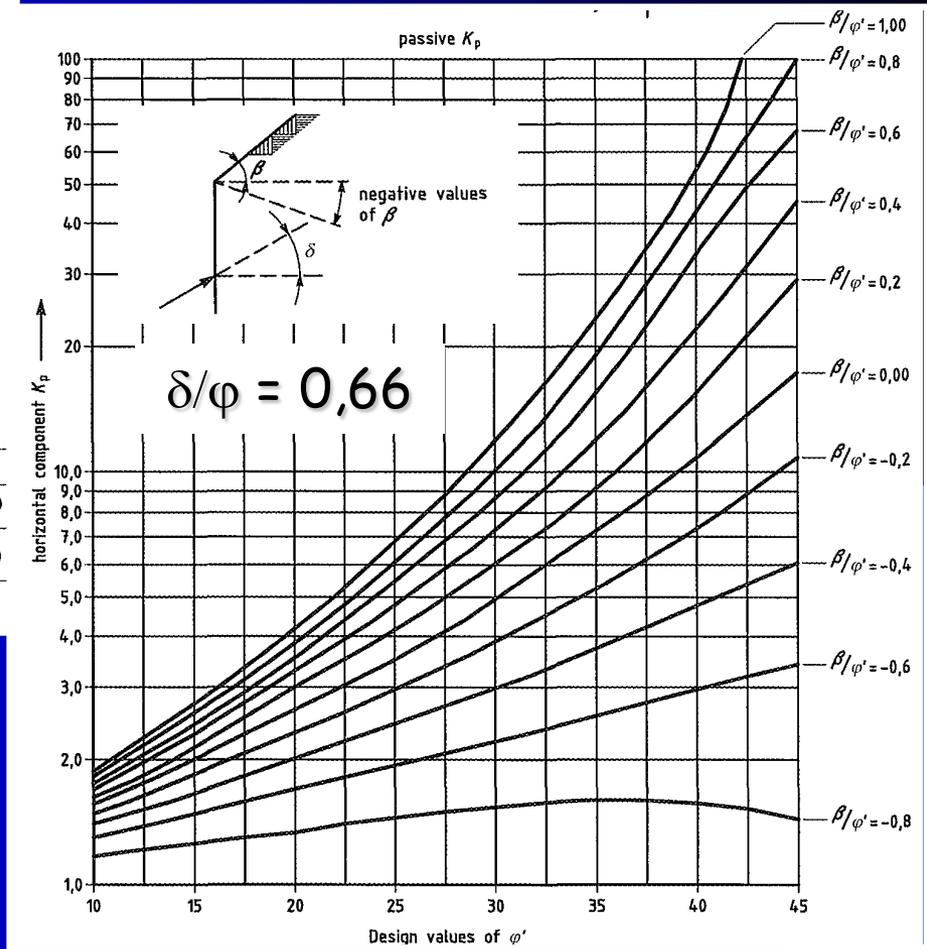
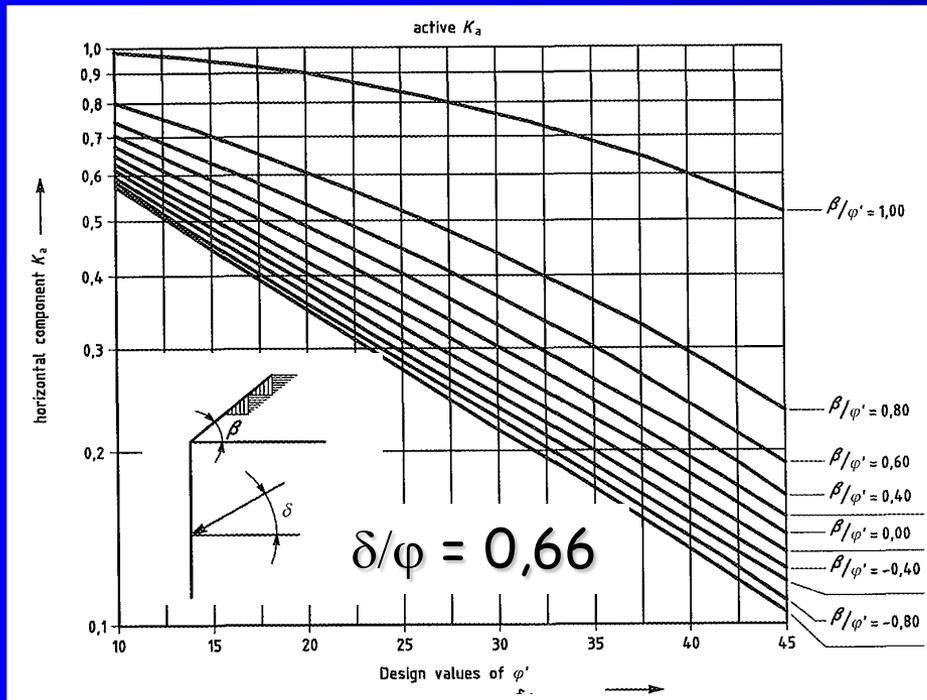
Action	Symbole	valeur
Permanente Défavorable <sup>1</sup>	$\gamma_{G;dst}$	1,10
Favorable <sup>2</sup>	$\gamma_{G;stb}$	0,90
Variable Défavorable <sup>1</sup>	$\gamma_{Q;dst}$	1,50
Favorable <sup>2</sup>	$\gamma_{Q;stb}$	0

<sup>1</sup> Destabilisante ; <sup>2</sup> Stabilisante

Etat - limite EQU

# Poussée/Butée des terres

## EN 1997-1 annexe C



### Poussée/Butée des terres

-----  
 $\beta = -\varphi \text{ à } +\varphi$

$\delta = 0 ; 2/3\varphi \text{ et } \varphi$

# Portance et tassement des fondations

## EN 1997-1 annexes D, E, F

### Modèle "φ" (annexe D)

$$R/A' = c' \times N_c \times b_c \times s_c \times i_c$$

$$+ q' \times N_q \times b_q \times s_q \times i_q$$

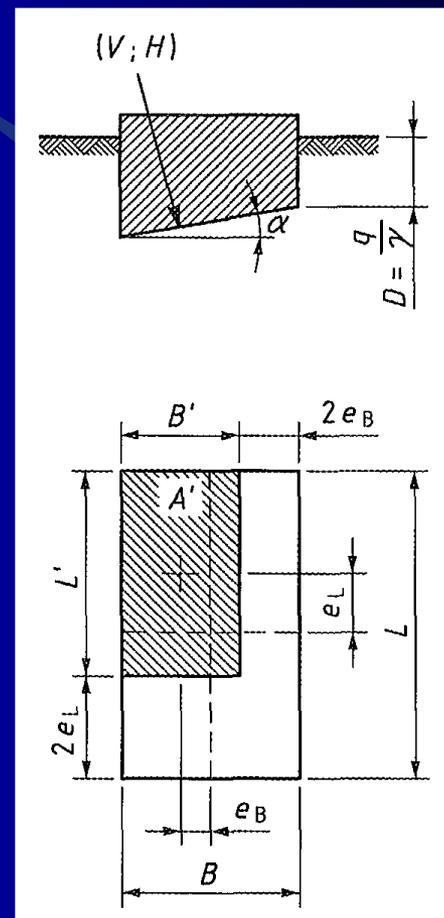
$$+ 0,5 \times \gamma' \times B' \times N_\gamma \times b_\gamma \times s_\gamma \times i_\gamma$$

### Modèle pressiométrique (annexe E)

$$R/A' = \sigma_{v0} + k \times p_{le}^*$$

### Tassement des fondations (annexe F)

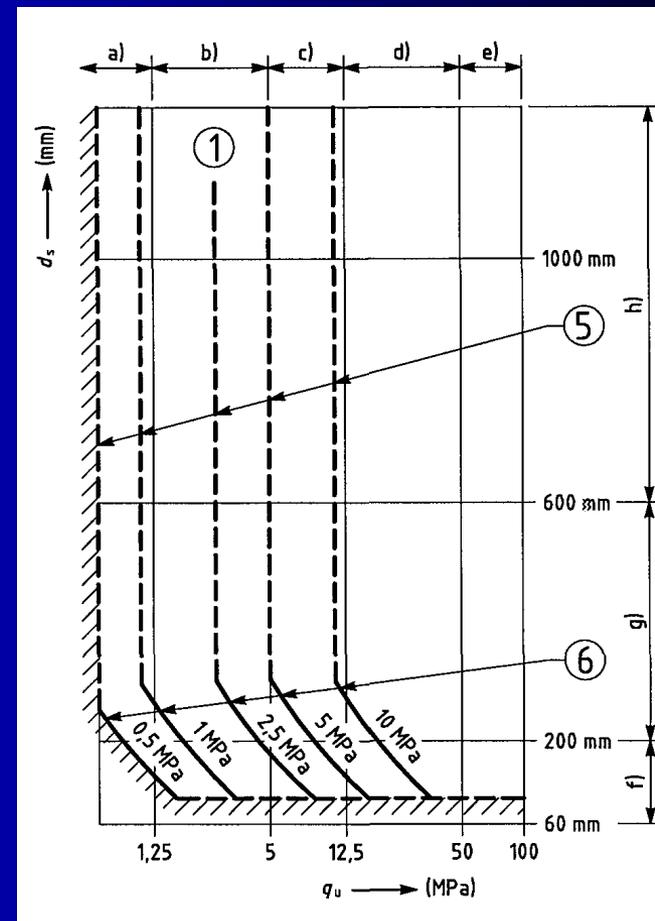
$$s = p \times b \times f / E_m$$



# Portance des fondations sur rocher

## EN 1997-1 annexe G

Groupe	Type de roche
1	Calcaires et dolomies purs Grès carbonatés de faible porosité
2	Roches ignées Calcaires oolithiques et marneux Grès bien cimentés Pélites carbonatées indurées Roches métamorphiques, y compris les ardoises et les schistes (clivage et foliation horizontaux)
3	Calcaires très marneux Grès faiblement cimentés Ardoises et schistes (clivage et foliation inclinés)
4	Pélites et schistes argileux non cimentés



- 5 La pression admissible ne doit pas excéder la résistance à la compression simple de la roche si les joints sont fermés ou 50% de cette valeur s'ils sont ouverts.
- 6 Pression admissible: a) roche très tendre, b) roche tendre c) roche modérément tendre d) roche modérément dure e) roche dure

## Annexe G

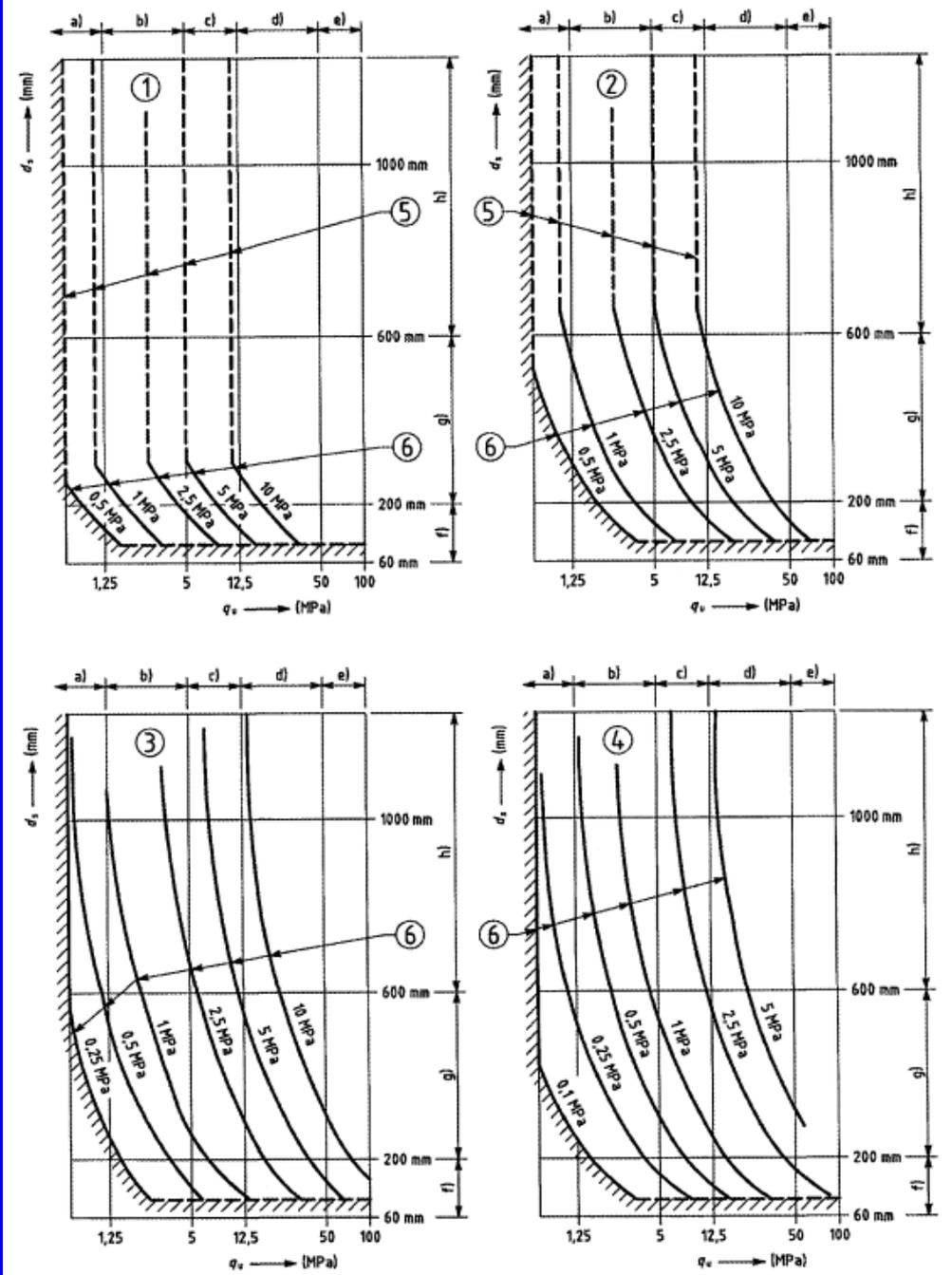
(informative)

### Exemple de méthode de détermination de la pression de contact présumée des fondations superficielles sur rocher

(1) Pour les roches tendres et fracturées comportant des joints fermés, y compris les craies de porosité inférieure à 35 %, la pression de contact présumée peut être déduite de la figure G.1. Ceci est fondé sur la classification donnée dans le tableau G.1 dans l'hypothèse où l'ouvrage peut tolérer des tassements égaux à 0,5 % de la largeur de la fondation. Les valeurs de la pression de contact présumée pour d'autres tassements peuvent être calculées proportionnellement au tassement. Pour les roches tendres et fracturées comportant des joints ouverts ou remplis, il convient d'utiliser des valeurs réduites de la pression de contact présumée.

Tableau G.1 — Classification des roches tendres et fracturées

Groupe	Type de roche
1	Calcaires et dolomies purs Grès carbonatés de faible porosité
2	Roches ignées Calcaires oolithiques et marneux Grès bien cimentés Pélites carbonatées indurées Roches métamorphiques, y compris les ardoises et les schistes (clivage et foliation horizontaux)
3	Calcaires très marneux Grès faiblement cimentés Ardoises et schistes (clivage et foliation inclinés)
4	Pélites et schistes argileux non cimentés



## Légende

Abscisse :  $q_u$  (MPa) résistance à la compression simple

Ordonnée :  $d_s$  (mm) espacement des discontinuités

- 1 Roches du groupe 1,
- 2 Roches du groupe 2,
- 3 Roches du groupe 3,
- 4 Roches du groupe 4
- 5 La pression admissible ne doit pas excéder la résistance à la compression simple de la roche si les joints sont fermés ou 50 % de cette valeur s'ils sont ouverts.
- 6 Pression admissible : a) roche très tendre, b) roche tendre c) roche modérément tendre d) roche modérément dure e) roche dure

Espacements : f) discontinuités rapprochées  
g) discontinuités moyennement espacées  
h) discontinuités très espacées

Pour les types de roche de chacun des quatre groupes, voir le tableau G.1. La capacité portante des zones hachurées doit être estimée après inspection visuelle et/ou essais sur les roches. (de BS 8004)

**Figure G.1 — Pression de contact présumée des fondations isolées de forme carrée reposant sur des roches** (pour des tassements ne dépassant pas 0,5 % de la largeur de la fondation)

# NF EN 1997-1/NA (NF P 94-251-2)

Annexe nationale à la norme NF EN 1997-1 (12 p)

- Avant propos
- Catégories géotechniques de projet



NF P 94x	Objet
P 94-261	Fondations superficielles
P 94-262	Fondations profondes
P 94-270	Sol renforcé
P 94-281	Murs
P 94-282	Écrans
P 94-290	Talus, Remblais



Cat. Géotech.	Clas. de cons.	Conditions de site	Bases de justifications
1	CC1	Simple et connues	Expérience et recon. qualitative
2	CC1	Complexes	Reconn. géotechnique et calcul
	CC2	Simple ou complexes	
3	CC3	Simple ou complexes	Recon. géotech. + calc. approfondis

▪ Facteurs partiels de sécurité

**Idem – Annexe A  
(NF EN 1997-1)**

▪ Approche de calcul **2 ou 3**

▪ Effets de l'eau (annexe informative)

# EN 1997- Partie 2 : Table des matières

- Section 1 Généralités
- Section 2 Planification des reconnaissances de sites
- Section 3 Prélèvements des sols et des roches et mesures hydrauliques
- Section 4 Essais en place sur sols et roches
- Section 5 Essais de laboratoire sur sols et roches
- Section 6 Rapport de reconnaissance du terrain

Annexes informatives (24) : Exemples d'utilisation d'essais

# Essais en place sur sols et roches

## EN 1997- 2 - Section 4

- essais au pénétromètre statique CPT & CPTU (4.3) ;
- essais au pressiomètre PMT (4.4) ;
- essais au dilatomètre rocher RDT (4.5) ;
- essais de battage au carottier SPT (4.6) ;
- essais de battage d'une pointe conique DP (4.7) ;
- sondage par poids WST (4.8) ;
- essais au scissomètre FVT (4.9) ;
- essais au dilatomètre plat DMT (4.10) ;
- Essais de chargement de plaque PLT (4.11).

# Essais de laboratoire (sols et roches)

## EN 1997- 2 - Section 5

- préparation des échantillons de sol et de roche (5.3 & 5.4) ;
- essais de classification, d'identification et de description des sols (5.5) ;
- essais chimiques des sols et de l'eau (5.6) ;
- indice de résistance et essais de résistance des sols (5.7 & 5.8) ;
- essais de compressibilité des sols (5.9) ;
- essais de compactage des sols (5.10) ;
- essais de perméabilité des sols (5.11) ;
- essais de classification, de gonflement et de résistance des roches (5.12, 5.13 & 5.14) ;

# Résultats des essais normalisés

## EN 1997-2 Annexe A

Essais en place	Résultats d'essais
Pénétromètre statique	$q_c, f_s, R_f$ (CPT) / $q_t, f_s, u$ (CPTU)
Battage de pointe	$N_{10}$ (DPL, DPM, DPH) / $N_{10}$ ou $N_{20}$ (DPSH)
Carottier battu	$N, E_r$ (SPT)
Pressiomètre Ménard	$E_M, p_f, p_{IM}$ , courbe (PMT)
Dilatomètre	$E_{FDT}$ (RDT)
Scissomètre	$c_{fv}, c_{rv}$ (FVT)
Sondage par poids	$N_b$ (WST)
Essai de plaque	$p_u$ (PLT)
Dilatomètre plat	$P_0, p_1, E_{DMT}, I_{DMT}, K_{DMT}$ (DMT)
Essais de laboratoire	
teneur en eau ( $w$ ), masse volumique ( $\rho$ ), masse volumique des grains ( $\rho_s$ ), courbe granulométrique (courbe), limites d'Atterberg ( $w_p, w_L$ ), indice de densité ( $e_{max}, e_{min}, I_D$ ), teneur en matières organiques ( $C_{OM}$ ), en carbonate ( $C_{CaCO_3}$ ), en sulfure ( $C_{SO_4}, C_{SO_3}$ )	

# Travaux de liaison

## EUROCODES (TC 250)

EN 1990

« Bases de calcul des structures »  
(prise en compte des actions géotechniques)

EN 1998-5

« Conception parasismique des structures. Fondations, ouvrages de soutènement et géotechniques »

## HORS TC 250

CEN/TC 288 - Exécution des travaux géotechniques

CEN/TC 341 - Reconnaissance et essais géotechniques

## 2. Les normes d'essais (TC 341)

# Etat d'avancement : avril 2010

## Reconnaissance et essais de laboratoire

### *Normes publiées (6)*

NF EN ISO 14688-1 : Identification des sols

NF EN ISO 14688-2 : Principe de classification des sols

NF EN ISO 14689-1 : Identification des roches

NF EN ISO 22475-1,-2,-3: Prélèvements et mesures d'eau

### *Spécifications techniques publiées (12)*

FD CEN/ISO/TS 17892-1 à 12 :

Teneur en eau, Masse volumique,

Masse volumique des grains, Analyse granulométrique,

Essai oedométrique, Essai au cône,

Essai de compression uniaxiale,

Essais au triaxial UU, CU, CD

Essais à la boîte de cisaillement,

Essais de perméabilité,

Limites d'atterberg





# Autres projets en cours : avril 2010

## Essais d'eau

EN 22282-1 à 6 (2010):

Essais de pompage, Lefranc, Lugeon

## Essais sur des structures géotechniques

EN 22477-1 à 4 :

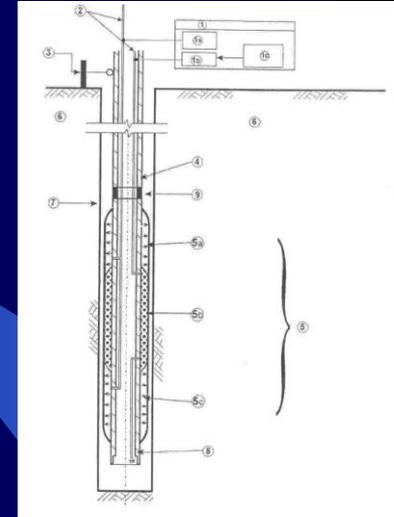
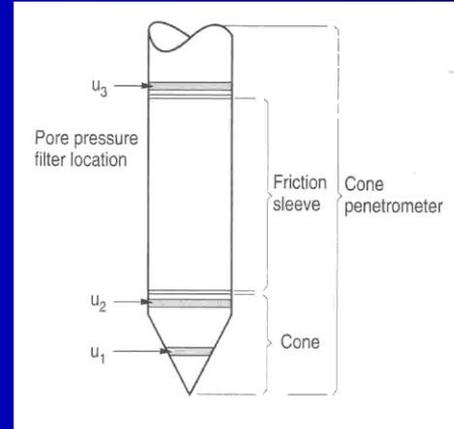
Essais de pieux (statique en compression, en traction, charge transversale, dynamique)

EN 22477-5:

Essais de tirants d'ancrage (2012)

EN 22477-6,-7

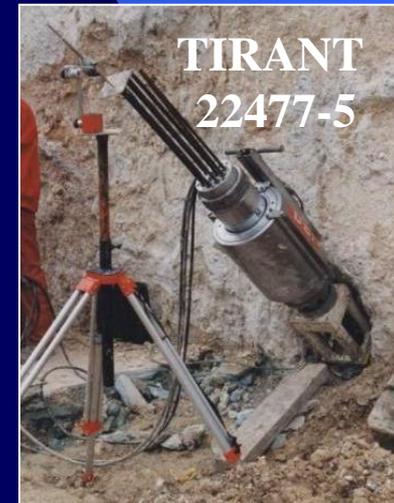
Essais de clous, de remblais renforcés



**PIEU  
22477-1**



**TIRANT  
22477-5**

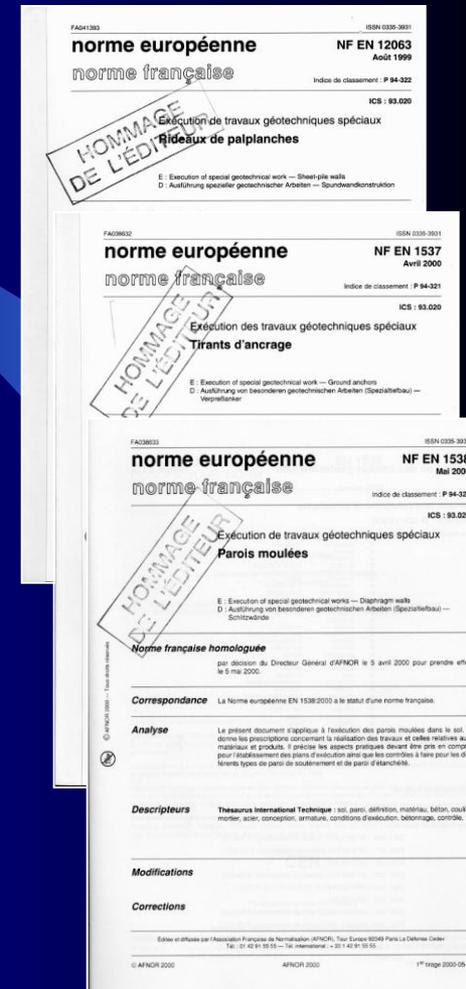


# 3. Les normes de travaux (TC 288)

# Exécution des travaux : avril 2010

## 13 normes publiées (date de publication)

- NF EN 1536: Pieux forés (1999) - révision acceptée, 2010
- NF EN 1537 : Tirants d'ancrage (1999) - révision à l'enquête
- NF EN 1538 : Parois moulées (2000) - révision acceptée, 2010
- NF EN 12063 : Rideaux de palplanches (1999) - confirmée, 2010
- NF EN 12699 : Pieux refoulement du sol (2000) - à réviser, 2010
- NF EN 12715 : Injection (2000) - confirmée, 2010
- NF EN 12716 : Colonnes, ... réalisés par jet (2001)
- NF EN 14199 : Micropieux (2005) - à réviser, 2010
- NF EN 14475 : Remblais renforcés (2006)
- NF EN 14490 : Clouage (publication prévue en 2010)
- NF EN 14679 : Colonnes de sol traité (2005) - confirmée, 2010
- NF EN 14731 : Améliorations des sols par vibration (2005) - confirmée, 2010
- NF EN 15237 : Drainage vertical (2007)



# Pour conclure sur l'Eurocode 7 .....

- un outil pour aider les géotechniciens européens (et d'autres...) à parler le même langage
- un outil pour le dialogue indispensable entre les géotechniciens et les ingénieurs des structures

\*\*\*\*\*

- une aide à la promotion de la recherche (essais et justification des méthodes de calcul)
- un cadre pour harmoniser le « calcul géotechnique » et pour s'interroger sur la pratique actuelle de la reconnaissance des terrains jusqu'aux modèles de calcul

... mais on n'oubliera pas que pour les  
« Calculs Géotechniques » ...

(EN 1997-1: § 2.4 Dimensionnement géotechnique  
par le calcul 2.4.1 Introduction)

- (2) La connaissance des conditions de sol en géotechnique dépend de l'importance et de la qualité des reconnaissances géotechniques. Cette connaissance et le contrôle de la qualité de réalisation des travaux sont plus importants pour satisfaire les exigences fondamentales que la précision des modèles de calcul et des coefficients partiels.

**Merci de votre attention !**