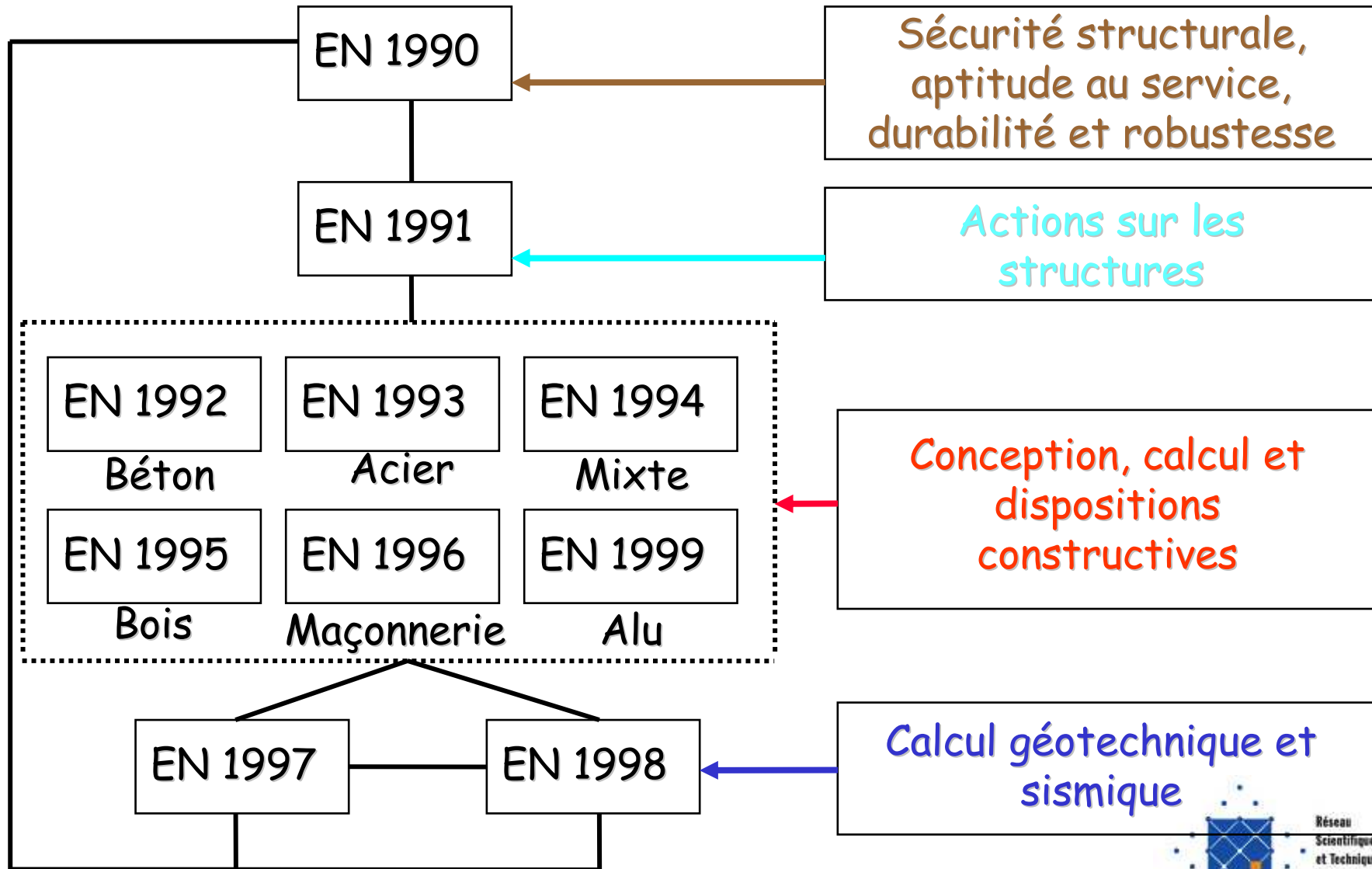


Les Eurocodes, l'Eurocode 7 et les normes d'application nationale

Sébastien Burlon
CETE Nord-Picardie



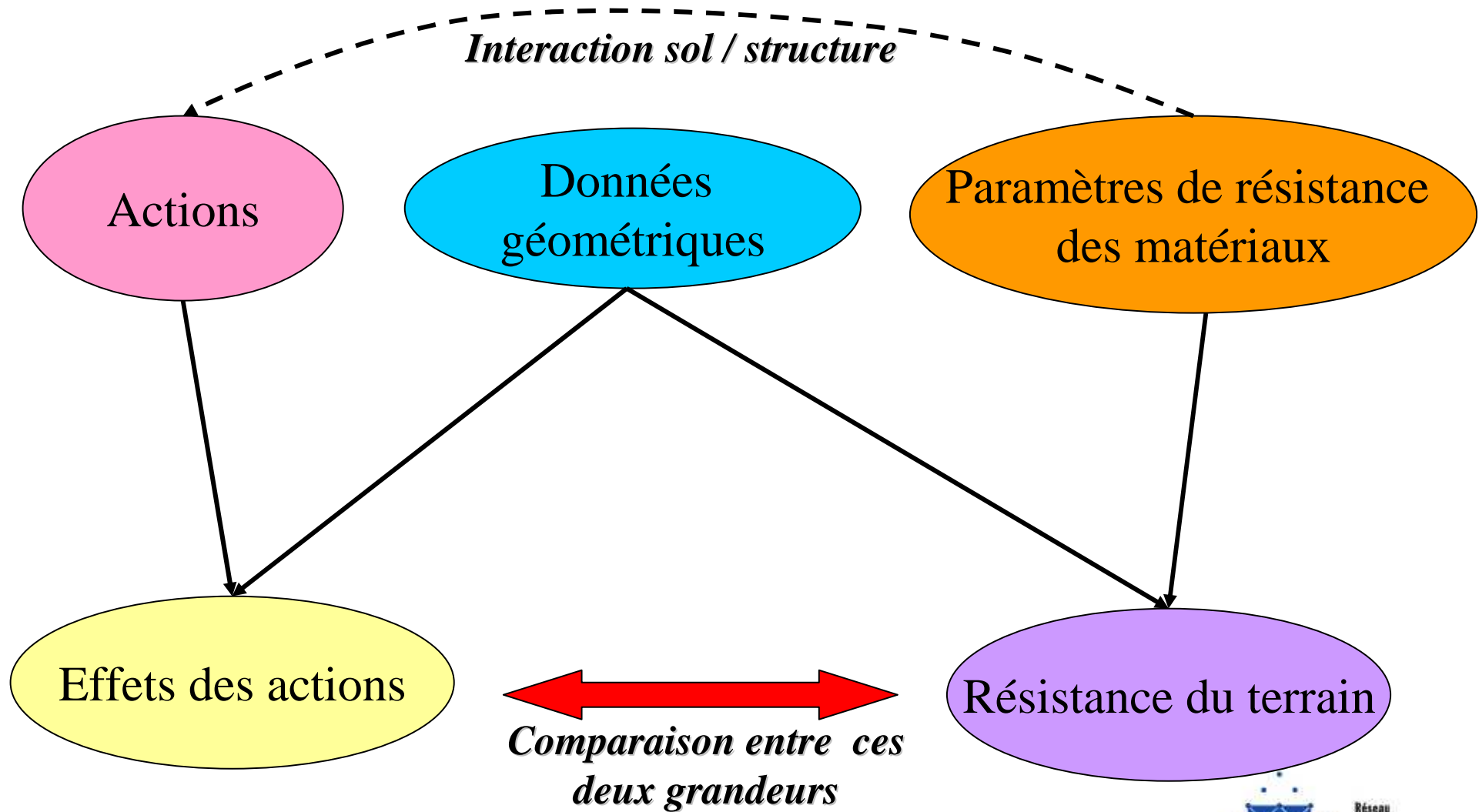
EQU	<p>Perte d'équilibre statique de la structure ou d'une partie quelconque de celle-ci, considérée comme un corps rigide, lorsque :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des variations mineures de la valeur ou de la distribution spatiale d'actions d'une source unique sont significatives • les résistances des matériaux de construction ou du sol ne sont généralement pas déterminantes
STR	<p>Défaillance interne ou déformation excessive de la structure ou d'éléments structuraux, y compris semelles, pieux, murs de soubassement, etc., lorsque la résistance des matériaux de construction de la structure domine</p>
GEO	<p>Défaillance ou déformation excessive du sol, lorsque les résistances du sol ou de la roche sont significatives pour la résistance</p>
FAT	<p>Défaillance de la structure ou d'éléments structuraux due à la fatigue.</p>
UPL	<p>Perte d'équilibre de la structure ou du sol due à un soulèvement causé par la pression hydrostatique (NF EN 1997)</p>
HYD	<p>Soulèvement d'origine hydraulique, érosion interne écoulements dans le sol dus à des gradients hydrauliques (NF EN 1997)</p>

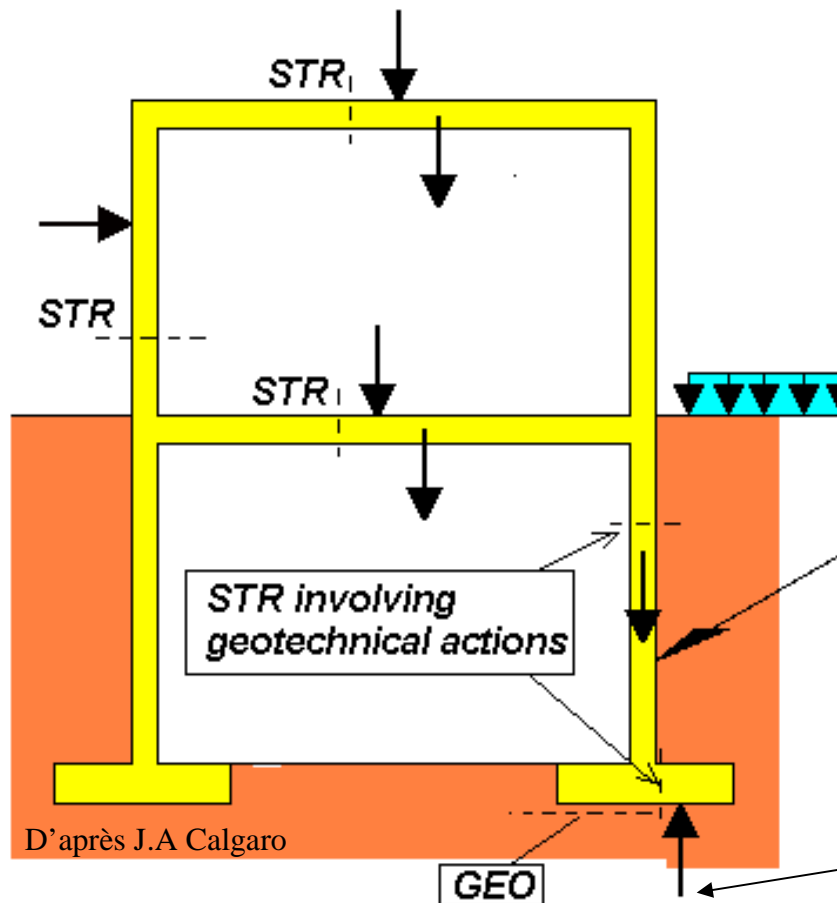
Les différentes méthodes de conception des ouvrages

→ Le dimensionnement des ouvrages est appréhendé en termes de calcul par deux approches :

→ Calcul aux contraintes admissibles (« ASD ») : c'est la manière la plus intuitive de concevoir un ouvrage, le calcul est mené avec des charges non pondérées et les effets des actions sont comparés aux résistances des matériaux ou du sol par des coefficients globaux.

→ Calcul de type semi-probabilistes (« LRFD ») : le coefficient de sécurité global est découpé pour tenir compte d'incertitudes liées à la géométrie, aux sollicitations, aux résistances, à la méthode de calcul...





La valeur de calcul de cette action dépend des caractéristiques du sol qui interviennent elles mêmes dans la valeur de calcul de la résistance du terrain

D'après J.A Calgaro

GEO

Valeurs mesurées, valeurs caractéristiques et valeurs de calcul

Les Eurocodes définissent un certain de nombre de valeurs :

- L'angle de frottement mesuré : φ
- La valeur caractéristique de l'angle de frottement caractéristique : φ_k
- La valeur de calcul de l'angle de frottement de calcul : φ_d
(à l'approche 2 : $\varphi_k = \varphi_d$; à l'approche 3 : $\varphi_d = \arctan(\tan(\varphi_k) / \gamma_M)$)
- La valeur caractéristique de la force de poussée : $F_{a;k} = \tan^2(\pi/4 - \varphi_k/2)$
- La valeur de calcul de la force de poussée : $F_{a;d} = \tan^2(\pi/4 - \varphi_d/2)$ ou $1.35F_{a;k}$
- La valeur caractéristique de la résistance du béton à la compression simple : $f_{c;k}$
- La valeur de calcul de l'effort tranchant : $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$

Les différentes approches de calcul

Approches	Combinaisons	Action (γ_F)	Symbole	Jeu A1	Jeu A2
1	A1 "+" M1 "+" R1	Permanente		1.35	1.00
	A2 "+" M2 "+" R1	Défavorable	γ_G	1.00	1.00
2	A1 "+" M1 "+" R2	Favorable	γ_G		
		Variable		1.50	1.30
3	"A1 ou A2 "+" M2 "+" R3	Défavorable	γ_Q	0	0
		Favorable	γ_Q		

Paramètre de sol (γ_M)	Symbole	Jeu M1	Jeu M2
Résist. au cisaillement	γ_ϕ	1.00	1.25
Cohésion drainée	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Cohésion non drainée	γ_{cu}	1.00	1.40
Résist. non confinée	γ_{qu}	1.00	1.40
Masse volumique	γ_γ	1.00	1.00

Résistance (γ_R)	Symbole	Jeu R1	Jeu R2	Jeu R3
Portance	γ_{Rv}	1.00	1.4	1.00
Glissement	γ_{Re}	1.00	1.1	1.00
Butée des terres	γ_R	1.00	1.4	1.00



Niveau	Dimensionnement				Essais	Exécution	Administr.
1	NF EN 1997-1 (Eurocode 7) + Annexe nationale + NF EN 1997-2				Normes TC341	Normes TC288	Textes officiels
2	Normes P94-261 Fondations Superfic.	d'Application P94-262 Fondations Profondes	Nationales P94-270 Ouvrages en sols renforcés	de la norme P94-281 Murs de soutènement	NF EN 1997-1 P94-282 Écrans de soutènement	P94-290 Ouvrages en terre	
DTU/CCTG	Documents traitant des divers aspects des projets et de l'exécution des ouvrages, y compris les relations contractuelles (exemples : ouvrages simples, fondation de bâtiment, etc..)						

La norme NF EN 1997-1 comprend 139 pages réparties en 12 sections et 9 annexes toutes informatives sauf A

Sommaire :

- Section 1 : Généralités (8 pages)
 - Section 2 : Bases du calcul géotechnique (16 pages)
 - Section 3 : Données géotechniques (10 pages)
 - Section 4 : Surveillance de l'exécution des travaux, suivi et entretien (5 pages)
 - Section 5 : Remblais, rabattement de nappe, amélioration et renforcement des terrains (5pages)
 - Section 6 : Fondations superficielles (9 pages)
 - Section 7 : Fondations sur pieux (20 pages)
 - Section 8 : Ancrages (6 pages)
 - Section 9 : Ouvrages de soutènement (14 pages)
 - Section 10 : Rupture d'origine hydraulique (6 pages)
 - Section 11 : Stabilité générale (6 pages)
 - Section 12 : Remblais (4 pages)
- Annexe A : Facteurs partiels
 - Annexe B : Commentaires sur les facteurs partiels et les approches
 - Annexes C, D, E, F, G : Exemples de calculs
 - Annexe H : Valeurs limites de déformation des structures
 - Annexes J : Aide-mémoire pour la surveillance des travaux

La norme NF EN 1997-2 comprend 170 pages réparties en 6 sections et 24 annexes toutes informatives

Section 1 : Généralités (10 pages)

Section 2 : Planification des reconnaissances de sites (11 pages)

Section 3 : Prélèvements des sols et des roches et mesures hydrauliques (6 pages)

Section 4 : Essais en place sur sols et roches (17 pages)

Section 5 : Essais de laboratoire sur sols et roches (20 pages)

Section 6 : Rapport de reconnaissance du terrain (3 pages)

Annexes informatives (24) : Exemples d'utilisation d'essais (72 pages) + Bibliographie (12 pages)

Les normes du TC341 sont les suivantes :

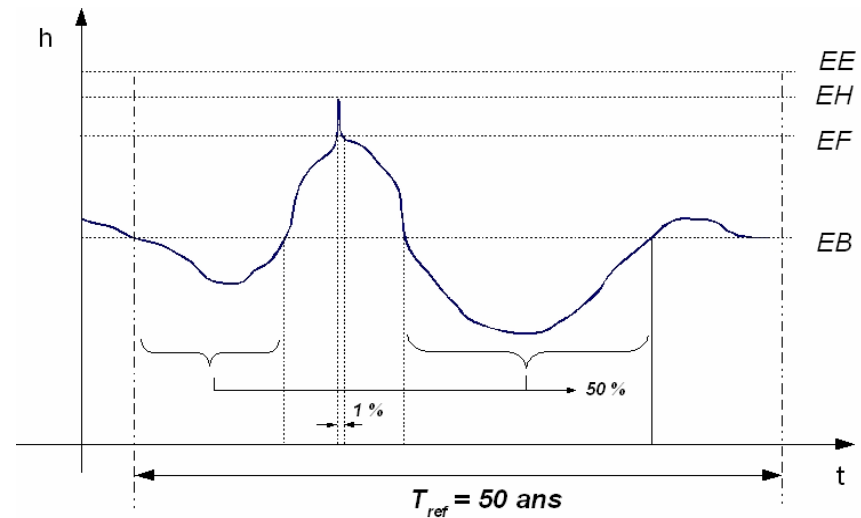
- 14688-xx : l'identification des sols (NF EN ISO, FD CEN/ISO/TS)
- 14689-xx : l'identification des roches (NF EN ISO)
- 22475-xx : le prélèvement des sols et la qualification des entreprises de sondages (TS)
- 22476-xx : les normes d'essais in-situ (NF EN, FD CEN/ISO/TS)
- 22282-xx : les essais d'eau (NF EN ISO)
- 22477-xx : les essais sur structures (essais de pieux, de clous, de tirants, ...etc) (NF EN)

Les normes du TC288 sont les suivantes :

- NF EN 1536 : Pieux forés (1999) - 79 p (en cours de révision)
- NF EN 1537 : Tirants d'ancrage (2000) - 56 p (en cours de révision)
- NF EN 1538 : Parois moulées (2000) - 46 p
- NF EN 12063 : Rideaux de palplanches (1999) - 76 p
- NF EN 12699 : Pieux avec refoulement du sol (2001) - 45 p
- NF EN 12715 : Injection (2000) - 49 p
- NF EN 12716 : Colonnes, ... réalisés par jet (2001) - 36 p
- NF EN 14199 : Micropieux (2005) - 45 p
- NF EN 14475 : Remblais renforcés (2007) - 49 p
- NF EN 14679 : Colonnes de sol traité (2005) - 49 p
- NF EN 14731 : Amélioration par vibration (2006) - 22 p
- NF EN 15237 : Drainage vertical (2007) - 52 p
- NF EN 14490 : Clouage (en projet)

L'annexe nationale à la norme NF EN 1997-1 fixe quelques règles d'application de l'Eurocode 7 :

- Seules les approches de calcul 2 et 3 sont applicables en France
- Les différents niveaux d'eau sont précisés
- Les classes de conséquences permettent de définir suivant les caractéristiques de terrain la catégorie géotechnique du projet



Catégorie Géotechnique	Classe de Conséquence (CC)	Conditions de site	Base de justifications
1	CC1	Simple et connues	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative
2	CC1	Complexes	Reconnaissance géotechnique et calcul
	CC2	Simple ou complexes	
3	CC3	Simple ou complexes	Reconnaissance géotechnique et calcul approfondis

La norme NF P 94-270 : Sols renforcés (murs en terre armée, paroi clouée, murs en géotextile)

→ Elle remplace les normes suivantes :

NF P 94-220 : massifs en sol renforcé par des éléments peu extensibles

XP P 94-240 : sols cloués

XP G 38-064 : massifs en sol renforcé par des éléments extensibles (sauf pour massifs très inclinés, $\tan h > 1/4$)

→ Les justifications sont plus détaillées (stabilité interne, externe, mixte, globale)

→ Peu de changements par rapport aux pratiques anciennes

→ Ce sont les approches 2 et 3 qui sont utilisées

La norme NF P 94-282 : Écrans de soutènements

→ Elle fixe des pratiques qui jusque là n'obéissaient à aucun règlement

→ Les coefficients partiels ont été fixés de manière à ne pas modifier la géométrie des ouvrages

→ C'est l'approche 2* qui a été privilégiée :

Le calcul est réalisé sans coefficient partiel, les effets des actions sont pondérés et il est vérifié qu'une sécurité suffisante sur la butée est obtenue (1.35x1.4)

Il est alors possible d'utiliser des outils de calcul numériques

→ Pour les rideaux autostables, c'est l'approche 2 qui est mise en œuvre : le calcul est mené de manière analytique

La norme NF P 94-282 : Fondations superficielles

→ C'est l'approche 2 qui est utilisée (c'est à dire celle du fascicule 62 titre V)

→ Cinq groupes de travail ont été constitués :

Maisons individuelles : volonté des entreprises de maçonnerie et gros œuvre

Matériaux : assurer une compatibilité avec l'Eurocode 2

Effets de l'eau : retrait-gonflement, gel-dégel, gonflement sous imbibition → tous les effets induits par des variations de teneur en eau

Vibrations, aspects cycliques

Portance et tassement : peu de changement par rapport aux pratiques actuelles


$$R_{v;d} = A i_e \left(\frac{k_p p_{le;k} i_{\delta\beta}}{\gamma_{R;d} \gamma_{R;v}} + q'_0 \right)$$

Valeurs caractéristiques de la pression limite calculée sur $1.5A_c$

Coefficient de modèle : 1.2

1.68 à l'ELU
 3 à l'ELS

Facteur imposé par l'Eurocode 7 :
 1.4 à l'ELU
 2.5 à l'ELS



La norme NF P 94-262 : Fondations profondes

Un certain nombre de changements sont en cours :

→ Deux méthodes de calcul de la portance :

La méthode du « pieu modèle » : pour chaque sondage pressiométrique, une valeur de portance R_c est calculée puis différents coefficients partiels sont utilisés : $\gamma_{R;d}$, ξ et γ_t .

La méthode du « modèle de terrain », c'est la méthode usuelle : définition de pressions limites caractéristiques, calcul de la portance $R_{c;k}$ et utilisation des coefficients partiels $\gamma_{R;d}$ et γ_t .

→ Le choix entre les deux méthodes doit être fait au plus tard en phase Projet

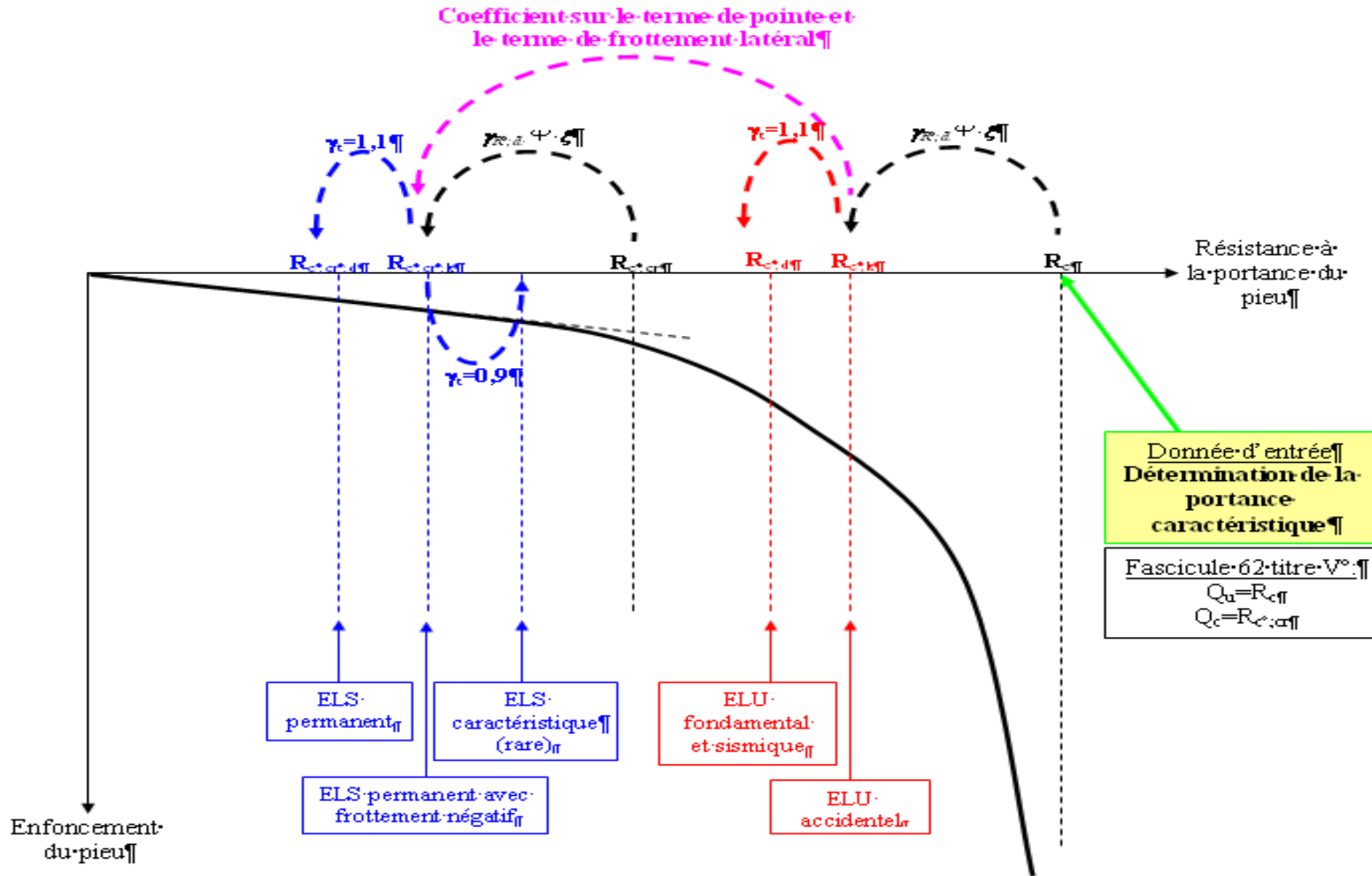
→ Signification des différents coefficients :

$\gamma_{R;d}$: il prend en compte l'incertitude de la méthode de calcul pressiométrique (1.15 ou 1.25)

ξ : il prend en compte le nombre d'essais réalisés et la surface d'investigations (1 à 1.4)

γ_t : il permet de gérer les justifications à l'ELU et à l'ELS (0.9 à 1.1)

→ Utilisation de données pressiométriques (nouvelle méthode) et pénétrométriques



$$\xi_i(N, S) = 1 + [\xi'_i(N) - 1] \sqrt{\frac{S}{S_{\text{réf}}}} \quad S_{\text{réf}} = 2500 \text{ m}^2 = 50\text{m} \times 50\text{m}$$

Valeurs numériques issues de l'EC7

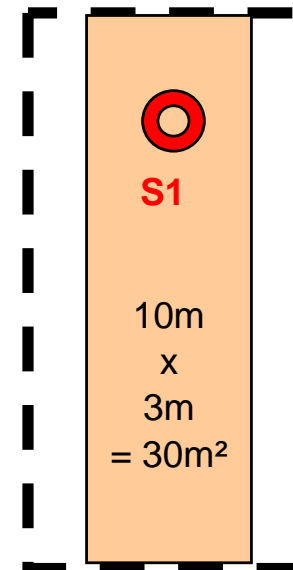
N	1	2	3	4	5	7	10
ξ'_3	1,4	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ'_4	1,4	1,27	1,23	1,2	1,15	1,12	1,08

PS

1 Appui
1 sondage S1

L = 10 m
l = 3 m
S = 30 m²

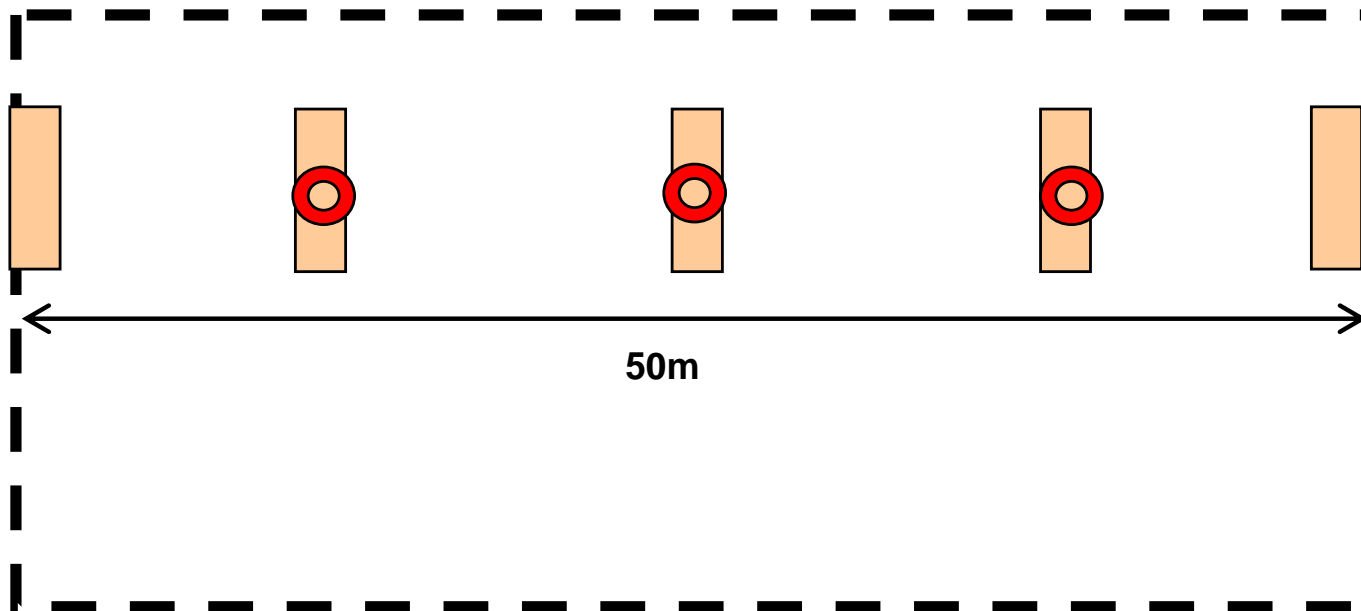
l mini = 5 m
S = 50 m²
N = 1
 $\xi'_3 = 1.01$
 $\xi'_4 = 1.01$



Réseau
Scientifique
et Technique
de l'Équipement

PS

5 Appuis
3 sondages



$$S = 50\text{m} \times 25\text{m} = 1\,250 \text{ m}^2$$

$$N = 3$$

$$\xi'_3 = 1.17$$

$$\xi'_4 = 1.12$$

Bâtiment 30m x 20m

L = 30 m
 l = 20 m
 S = 600 m²
 l mini = 15 m
S = 600 m²

1 sondage

S = 600
 N = 1
 ξ'_3 = 1.10
 ξ'_4 = 1.10

2 sondages

S = 600
 N = 2
 ξ'_3 = 1.08
 ξ'_4 = 1.06

3 sondages

S = 600
 N = 3
 ξ'_3 = 1.08
 ξ'_4 = 1.06

5 sondages

S = 600
 N = 5
 ξ'_3 = 1.07
 ξ'_4 = 1.04

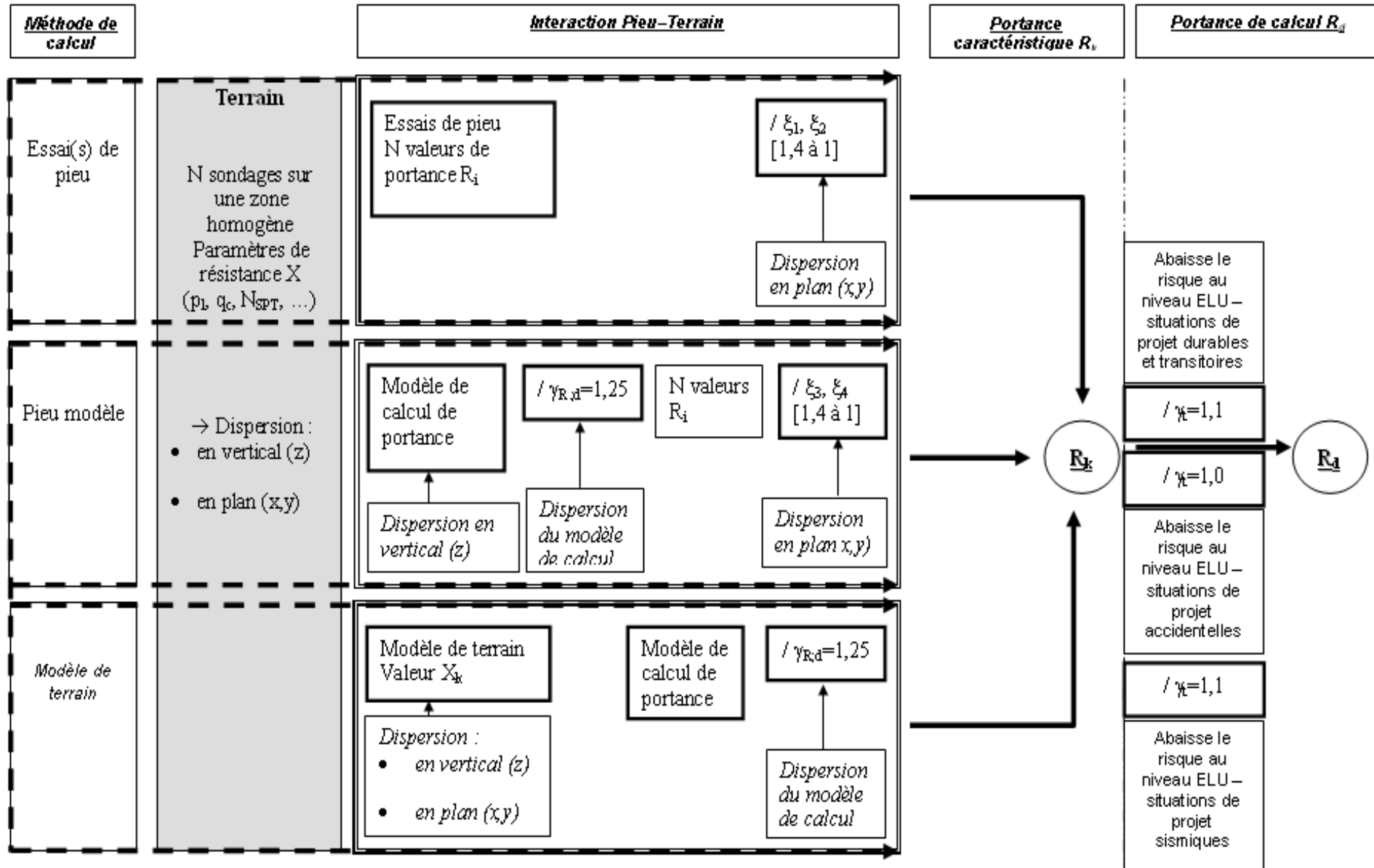
7 sondages

S = 600
 N = 7
 ξ'_3 = 1.06
 ξ'_4 = 1.03

10 sondages

S = 600
 N = 10
 ξ'_3 = 1.06
 ξ'_4 = 1.03





Quelques mots de conclusion :

Les Eurocodes constituent un ensemble document désormais applicable.

Ils sont complétés par des normes relatives à la réalisation d'essais (TC341) et à l'exécution des ouvrages (TC288)

Les annexes nationales aux Eurocodes et les normes d'application nationale fixent des exigences supplémentaires notamment dans le domaine des Eurocodes.