

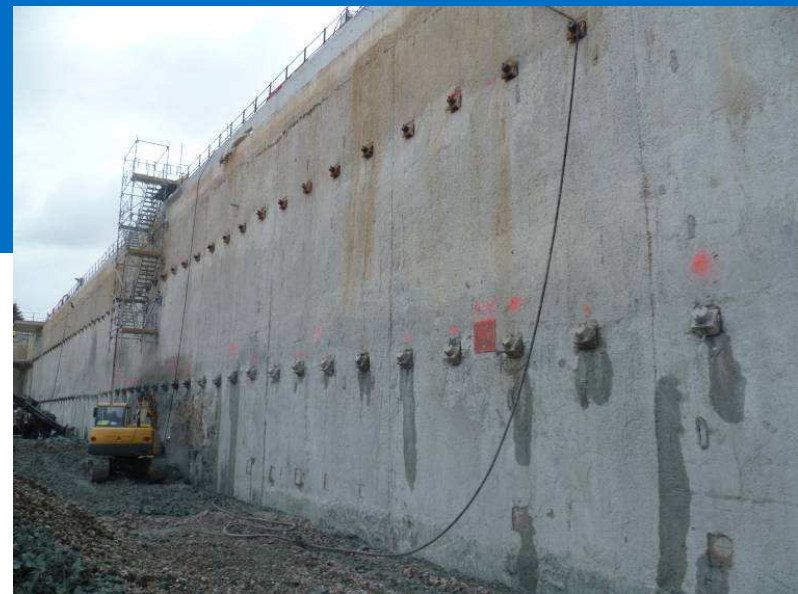
CFMS – 11 octobre 2012

Retour d'expérience sur la norme NF P 94-282 Ecrans de soutènement

I. DAIGNE HALFON



votre partenaire en maîtrise des risques





La norme Ecrans dans le référentiel EC7



EUROCODE 7

NF EN 1997-1
Règles générales
(juin 2005)

NF EN 1997-2
Reconnaisances
des terrains et essais
(septembre 2007)

+

NF EN 1997-1/NA
Annexe Nationale
(septembre 2006)

+

NF P 94-261 : Fondations superficielles

NF P 94-262 : Fondations profondes
– Juillet 2012

NF P 94-270 : Remblais renforcés
et massifs en sols cloués – Juillet 2009

NF P 94-281 : Ouvrages de soutènement
– Murs

NF P 94-282 : Ouvrages de soutènement
- Ecrans - Mars 2009

NF P 94-290 : Ouvrages en terres



Boutique AFNOR pour : SOCOTEC le 3/3/2009 17:52

FA152486 ISSN 0335-3031

norme française **NF P 94-282**
Mars 2009

Indice de classement : P 94-282

ICS : 93.020

Calcul géotechnique
Ouvrages de soutènement
Écrans

E : Geotechnical design — Retaining structures — Embedded walls
D : Entwurf Berechnung und Bemessung in der Geotechnik —
Stützwandkonstruktion — Spundwandkonstruktion

Norme française homologuée
par décision du Directeur Général d'AFNOR le 18 février 2009 pour prendre effet le 18 mars 2009.

Correspondance A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux internationaux ou européens traitant du même sujet.

Analyse Le présent document constitue la norme d'application de l'Eurocode 7 pour ce qui concerne les écrans de soutènement. Il définit la terminologie et les notations employées. Il décrit le comportement des écrans de soutènement et fournit les règles de justification par le calcul des écrans aux états-limites ultimes et aux états-limites de service.

Descripteurs Thésaurus International Technique : géotechnique, ouvrage, sol, écran, ancrage, appui, paroi, acier, béton, palplanche, calcul, limite, contrainte admissible, déplacement, rupture, excavation, stabilité.


Modifications

Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensé — 92571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : +33 (0)1 41 62 50 00 — Fax : +33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.org

© AFNOR 2009 AFNOR 2009 1^{er} tirage 2009-03-P

© AFNOR 2009 — Tous droits réservés



La première des 6 normes d'application de l'Eurocode 7

Parue en Mars 2009

3 ans et demi d'utilisation.



Avant NF P 94-282...

Au cours du XXème siècle : développement de nouvelles techniques d'exécution (rideaux de palplanches, parois moulées...)

Application en ouvrages maritimes et fluviaux. Souvent auto-stables ou avec un niveau d'appui.

Calculs selon les méthodes classiques (rupture).

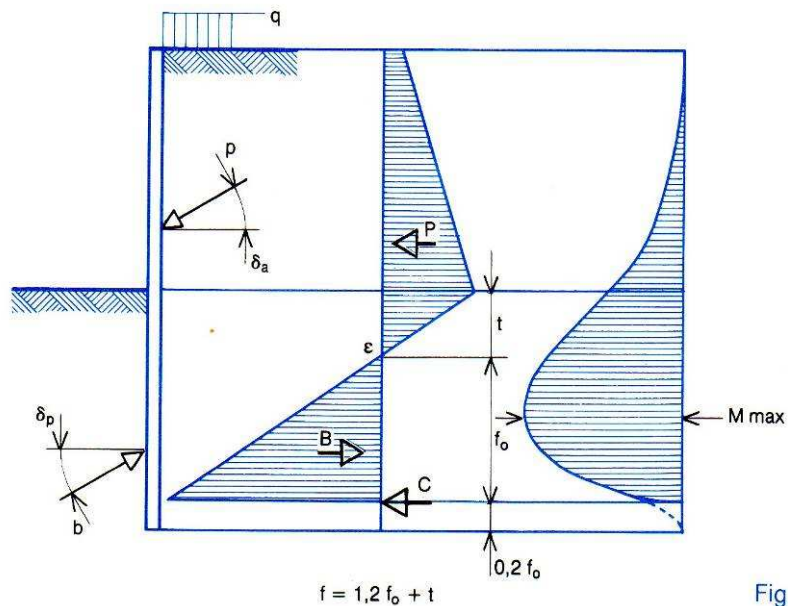


Fig. 5

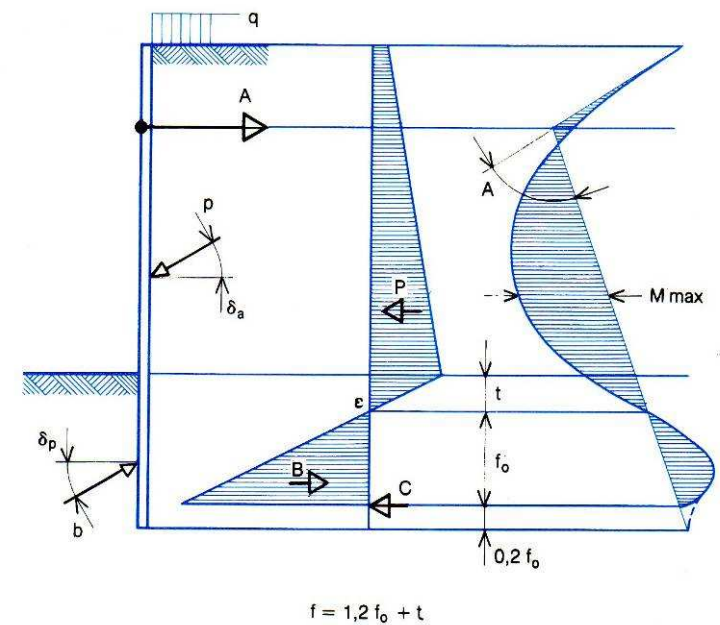


Fig. 6



Avant NF P 94-282...

Ouvrages de plus en plus courants en site urbain (sous-sols, parcs de stationnement, tranchées couvertes,...), avec contraintes liées aux avoisinants.

Ouvrages de plus en plus complexes, plusieurs niveaux d'appuis, parois composites

Depuis les années 70-80, développement des méthodes de calculs élasto-plastique (aux coefficients de réaction), développement d'outils informatiques.





Avant NF P 94-282...

Choix de la valeur de K_h : Chadeisson, Balay, f.62 (pieux), ...

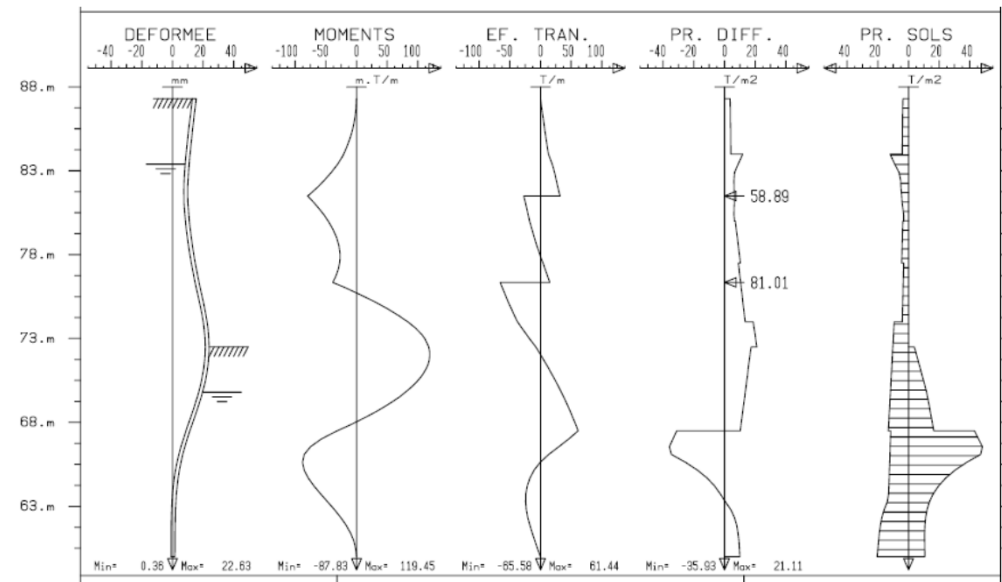
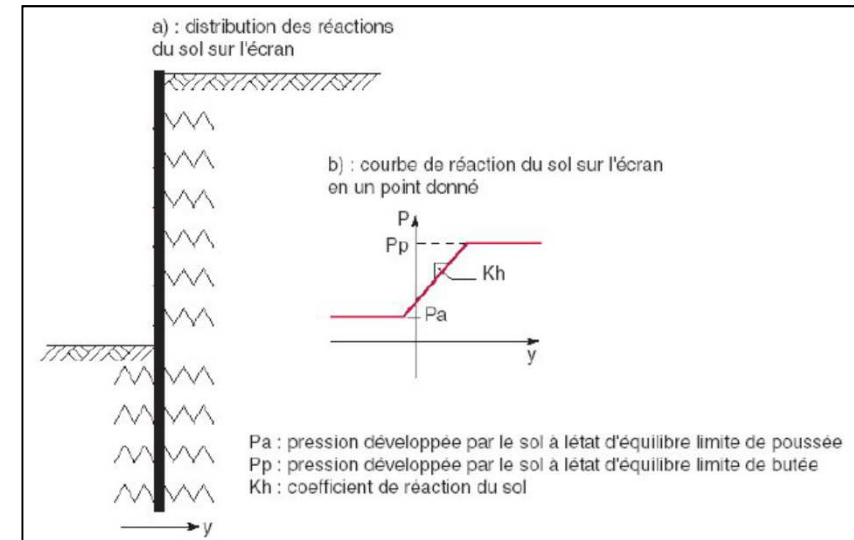
Inclinaison de la poussée et de la butée ?

Prise en compte des surcharges ?

Le critère de dimensionnement était principalement lié à la résistance de l'écran

La justification de stabilité d'ensemble était souvent oubliée.

Forte disparité dans la présentation et le contenu des études d'exécution





Avant NF P 94-282...



Nombreux articles ou ouvrages : Caquot, Kerisel, Absi, Houy, Chadeisson, Balay,...

1984 – LCPC – Note d'information technique - Recommandations pour le choix des paramètres de calculs des écrans de soutènement par la méthode des coefficients de réaction

1986 puis 1995 – Recommandations Tirants d'ancrage

1993 – Fascicule 62 – titre V. Pas destiné aux écrans de soutènement mais méthodes de dimensionnement de pieux soumis à des efforts horizontaux

Aucun document réglementaire couvrant toutes les problématiques des écrans



REX du bureau de contrôle



*Les apports
de la norme*

Les critères de dimensionnement – Les ELU et ELS

Choix des méthodes (MEL ou MISS) en fonction du type d'ouvrage

Evaluation du paramètre Kh

Prise en compte des surcharges

Les appuis (tirants et butons)

Les écrans composites

La stabilité générale

Suivi géotechnique / méthode observationnelle



Les apports de la norme

Tableau 8.2.1 – Vérifications minimales à faire aux états-limites ultimes pour les situations de projet durables ou transitoires les plus défavorables en cours de construction et d'exploitation

	Type ELU	Approche de calcul	Procédure voir
Tous les écrans de soutènement			
Stabilité générale (1)	GEO	2	Section 15
Défaut de butée (2)	GEO	2	Section 9
Résistance de la structure	STR	2	Section 10
Stabilité du fond de fouille (3)	GEO	2	Section 15
Écrans porteurs			
Poinçonnement du sol support	GEO	2	Section 11
Écrans avec appuis			
Stabilité du massif d'ancrage	GEO	2	Section 14
Résistance de l'ancrage (4)	STR/GEO	2	Section 12
Résistance de l'appui (5)	STR/GEO	2	Section 12
Écrans concernés par les ruines d'origine hydraulique			
Érosion interne ou régressive / Boulance (6)	HYD	-	Section 13
Soulèvement du fond de fouille (7)	UPL	-	Section 13
NOTES			
(1) Approche de calcul 2 (en règle générale).			
(2) Ruine par rotation, en général par défaut de butée en fiche, mais ce défaut de butée peut se produire en tête, par exemple dans le cas d'ancrage précontraint dans des terrains très mous.			
(3) Ruine d'une excavation profonde par déchargement du terrain (renard solide).			
(4) Résistance à l'arrachement d'une part et résistance structurale d'autre part, hors les dispositions constructives de protection contre la corrosion (voir 8.2(1) – Note 3)).			
(5) Résistance structurale d'une part et le cas échéant (buton) résistance du dispositif de réaction.			
(6) Écoulement d'eau autour de l'écran.			
(7) Pression d'eau sous la partie excavée (fond de fouille peu perméable).			

Vérifications aux ELS Chapitre 16



Déplacement de l'écran
Sollicitations des tirants et butons
Fluage critique des tirants d'ancrage
Massif de réaction d'un buton incliné
Mobilisation du terrain sous la base d'un écran

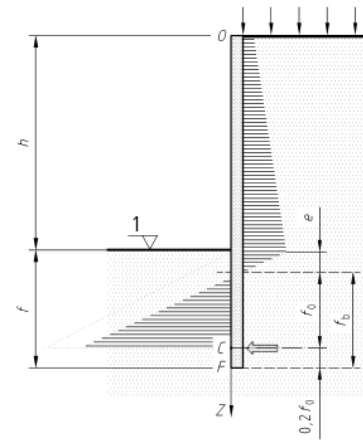


exhaustivité

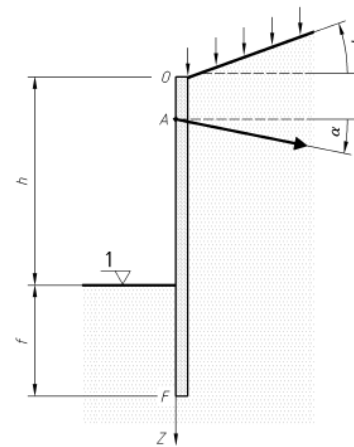


Les apports de la norme

Choix des méthodes (MEL ou MISS) en fonction du type d'ouvrage

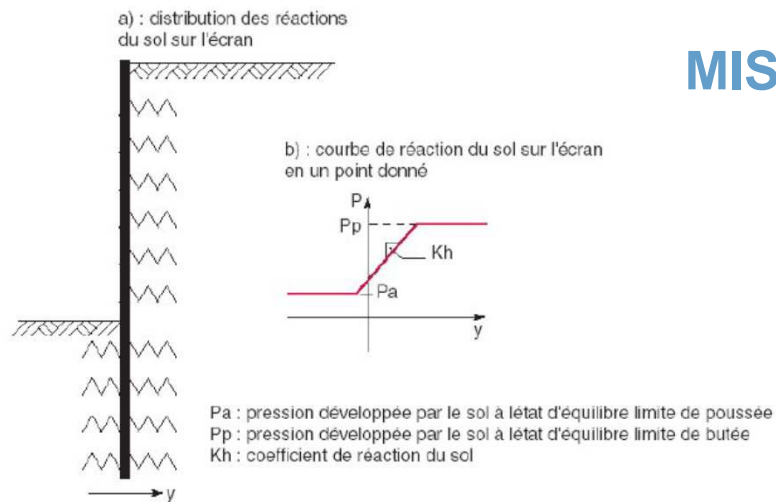


a) Écran non ancré

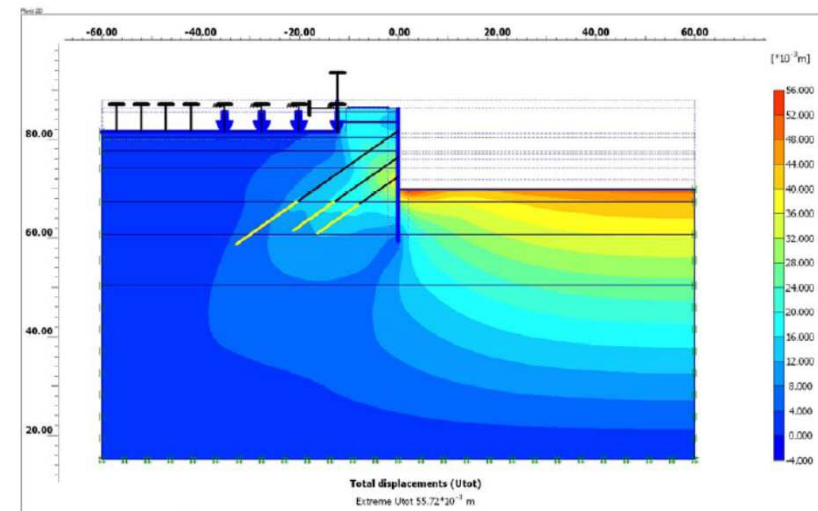


b) Écran ancré

MEL



MISS

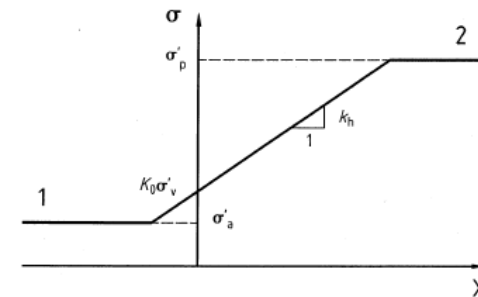




Les apports de la norme

Evaluation du paramètre K_h – Annexe F

$$k_h = 2 \frac{\left(\frac{E_M}{\alpha} \right)^{\frac{4}{3}}}{\left(\frac{E_{str} I_{str}}{B_0} \right)^{\frac{1}{3}}}$$



avec

k_h Coefficient de réaction horizontale du sol vis-à-vis de l'écran ;

E_M Module pressiométrique Ménard¹⁰⁾ ;

α Coefficient empirique fonction de la nature du terrain (voir Tableaux F.3.1 et F.3.2) ;

$E_{str} I_{str}$ Produit d'inertie d'un élément d'écran de longueur B_0 ;

B_0 Longueur de référence prise égale à 1 m.

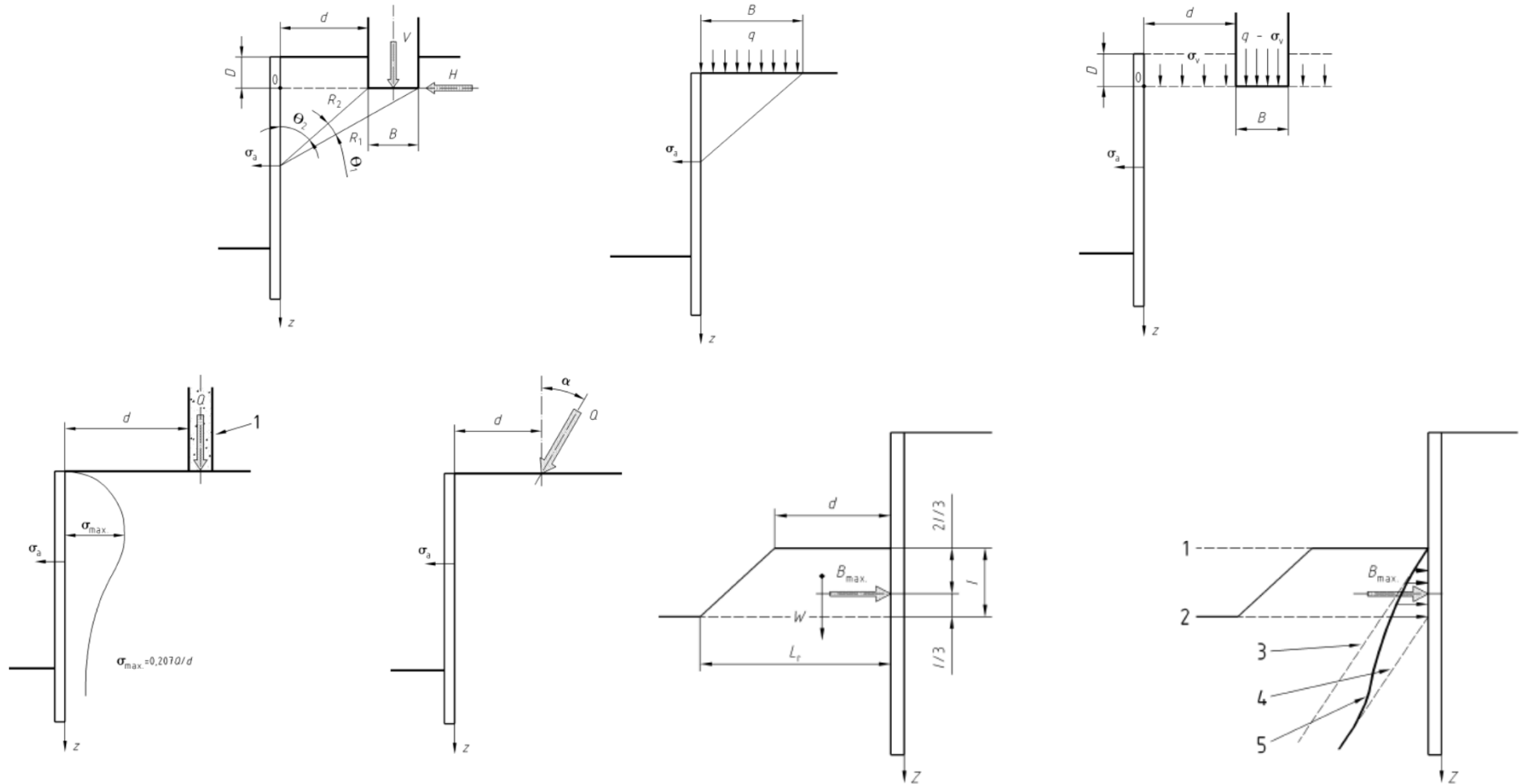
Type	Tourbe	Argile		Limon		Sable		Gravier	
	α	E_M/ρ_1	α	E_M/ρ_1	α	E_M/ρ_1	α	E_M/ρ_1	α
Surconsolidé ou très serré	-	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normalement consolidé ou normalement serré	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	7 - 12	1/3	6 - 10	1/4
Sousconsolidé altéré et remanié ou lâche	-	7 - 9	1/2	5 - 8	1/2	5 - 7	1/3	-	-

Rocher	
Type	α
Très peu fracturé	2/3
Normal	1/2
Très fracturé	1/3
Très altéré	2/3



Les apports de la norme

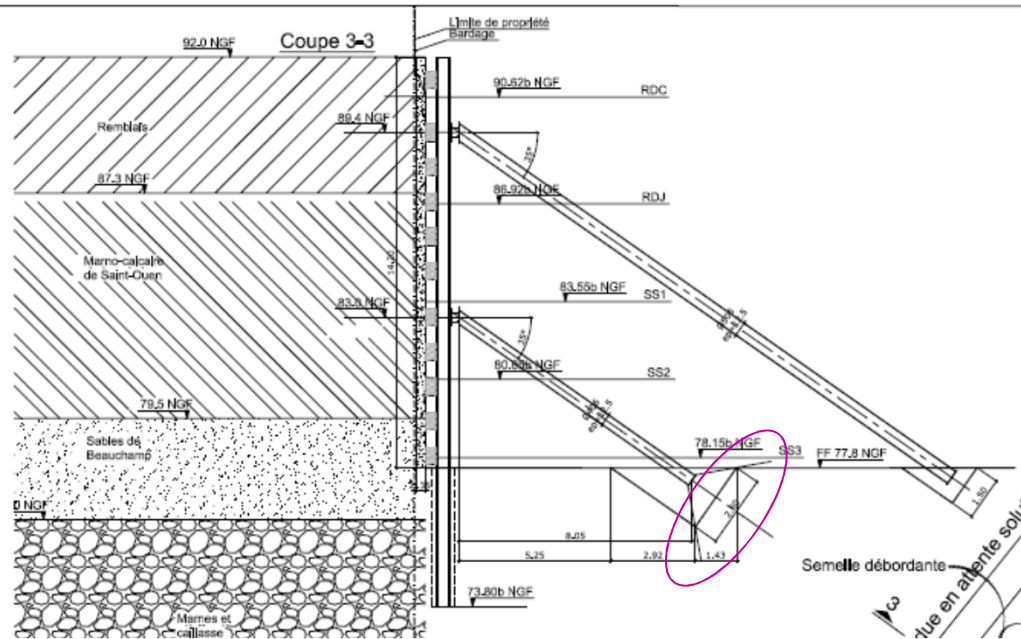
Prise en compte des surcharges localisées – Annexe D



> Les apports de la norme

Butons :

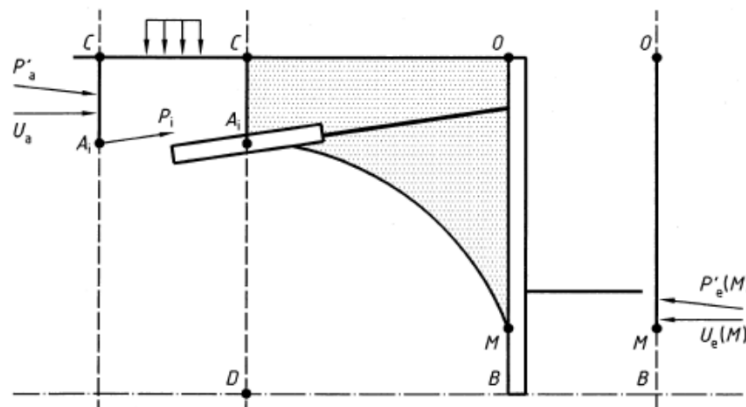
- ✓ *Résistance structurale*
- ✓ *Résistance et stabilité du massif de réaction*



> Les apports de la norme

Tirants :

- ✓ *Résistance structurale*
- ✓ *Résistance du scellement*
- ✓ *Essais sur tirants*
- ✓ *Stabilité du massif d'ancrage*



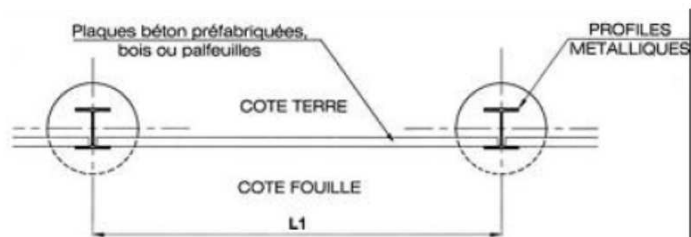
Mais les recommandations TA95 restent très utilisées



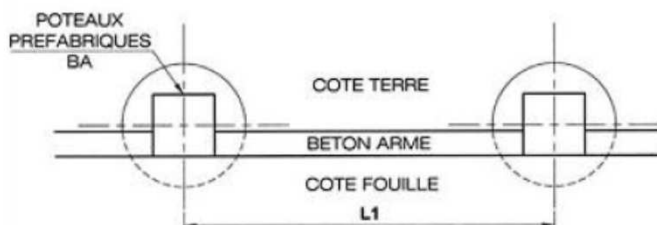


Les apports de la norme

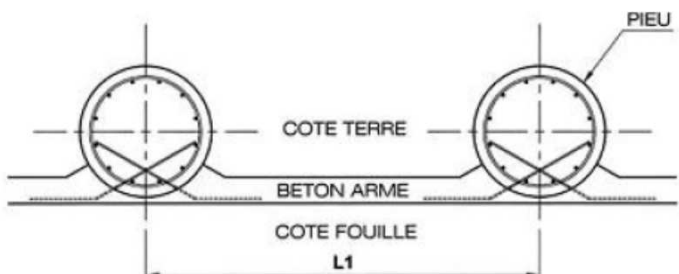
Les écrans composites – Annexe B



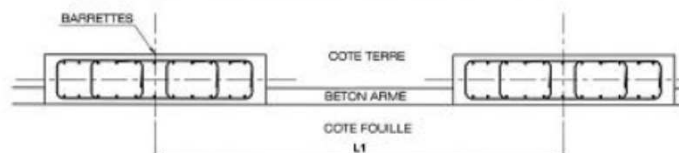
a – parois berlinoises



b – parois parisiennes



c – parois lutéciennes



d – parois moscovites

Calcul des inerties équivalentes

Calcul de la poussée et de la butée des terres (coefficients d'épanouissement)

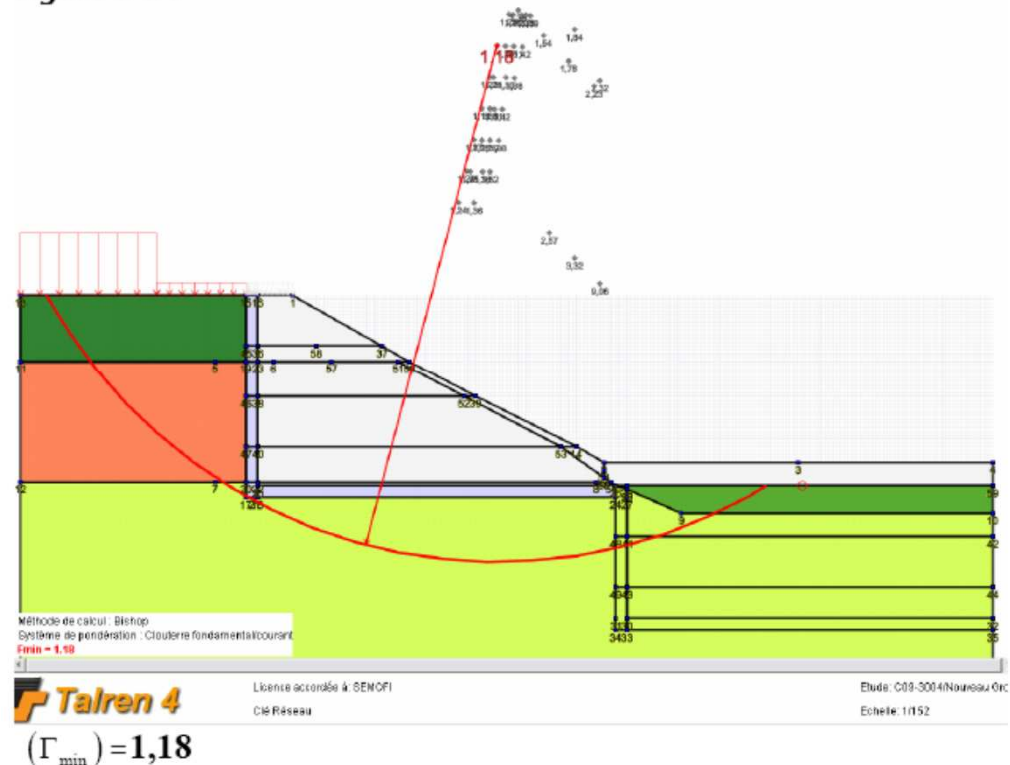




Les apports de la norme

La stabilité générale – chapitre 15

Figure 5-a :



Coefficient de sécurité global : $\gamma_F \times \gamma_{R;e} \times \gamma_{S;d} = (1.35 \text{ et } 1.5) \times 1.1 \times 1.0 \geq 1.485$

Situations provisoires de chantier : $\gamma_F \times \gamma_{R;e} \times \gamma_{S;d} = (1.35 \text{ et } 1.5) \times 1.1 \times 0.9 \geq 1.33$



Les apports de la norme

Suivi du comportement (Principe)

Tableau 17.3 – Principes généraux à suivre pour définir la surveillance, le suivi et le contrôle des travaux

Objet	Catégorie géotechnique		
	1 ^{a)}	2	3 ^{a)}
Surveillance	inspection visuelle, contrôle simple, estimation qualitative du comportement de l'ouvrage	idem 1 + contrôle des propriétés des remblais et du comportement de l'ouvrage	idem 1 + mesures des propriétés du terrain et du comportement de l'ouvrage aux étapes importantes
Vérification de l'état des terrains	inspection du site et relevé des types de terrains dans les excavations sur le site	idem 1 + vérification des propriétés du terrain avec reconnaissance et essais complémentaires si besoin	idem 2 + reconnaissance complémentaire et étude des conditions du terrain influant sur le dimensionnement
Contrôle de l'exécution des travaux	normalement, pas de plan de suivi et de contrôle	plan de suivi indiquant les phases de travaux	plan de suivi indiquant les phases de travaux
Instrumentation et suivi de l'ouvrage	évaluation simple et qualitative du comportement de l'ouvrage, fondée sur l'inspection visuelle	évaluation du comportement de l'ouvrage, basée au moins sur la mesure des mouvements ^{b)} de quelques points choisis et si besoin sur des mesures inclinométriques et si possible des réactions d'appui (cales dynamométriques)	évaluation du comportement de l'ouvrage, sur la base de mesures de déplacements et d'analyses tenant compte des phases des travaux, de mesures inclinométriques et de la mesure si possible des réactions d'appui (cales dynamométriques) surtout si la méthode observationnelle est utilisée

^a Cité pour mémoire, les dispositions de ce document ne s'appliquent pas aux ouvrages de catégories 1 et 3.

^b À comparer avec les prévisions fondées sur des résultats de calcul ou une expérience comparable.



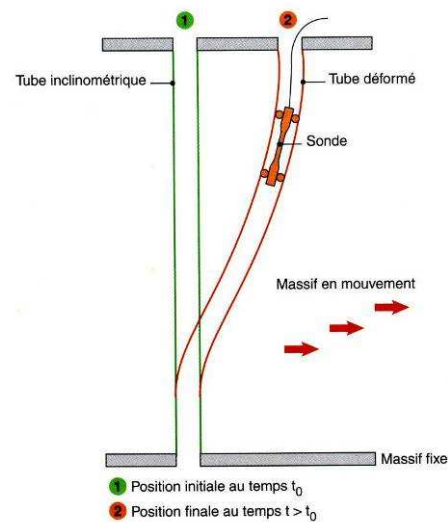
Les apports de la norme

Instrumentation et suivi de l'ouvrage

évaluation du comportement de l'ouvrage, basée au moins sur la mesure des mouvements ^{b)} de quelques points choisis et si besoin sur des mesures inclinométriques et si possible des réactions d'appui (cales dynamométriques)

Le suivi des déplacements par *cibles topographiques* est aujourd'hui assez courant

Complété pour les chantiers importants ou sensibles par *inclinomètres* et *cales dynamométriques*





REX du bureau de contrôle



*Imprécisions,
points
d'amélioration*

Définition des seuils de déplacements admissibles

Les voiles par passes

*Confusion Suivi géotechnique / méthode
observationnelle*

Reconnaissance et paramètres géotechniques c et φ



Les points d'amélioration

Définition des seuils de déplacements admissibles

NOTE 1 On rappelle (voir 8.3 (3)), que les valeurs limites de déplacement d'un écran sont à spécifier au début de l'étude de projet en tenant compte des tolérances de déplacement et de distorsion angulaire de l'ouvrage de soutènement et des structures concernées par les travaux. Ces indications relèvent normalement des spécifications du maître d'ouvrage (voir Tableau 17.1).

Annexe L

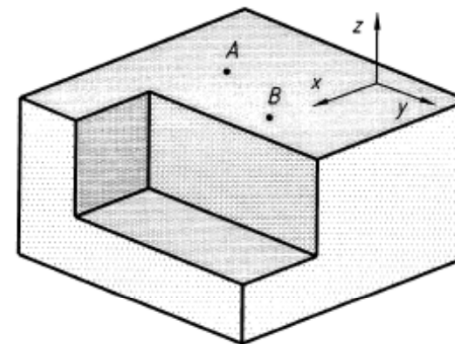
$$\sum_{i=x}^{i=z} [\delta_i(A) - \delta_i(B)]^{1,5} \leq \left(\frac{L}{N}\right)^{1,5}$$

où

$\delta_x, \delta_y, \delta_z$ sont les déplacements selon les directions x, y et z de deux points quelconques A et B de la structure (voir Figure L.2.3.1) ;

L est la distance entre les points A et B ;

N est un facteur empirique fonction de la sensibilité de l'ouvrage à définir cas par cas par des experts.



(L.2.3.1)

Peu pratique : jamais utilisé



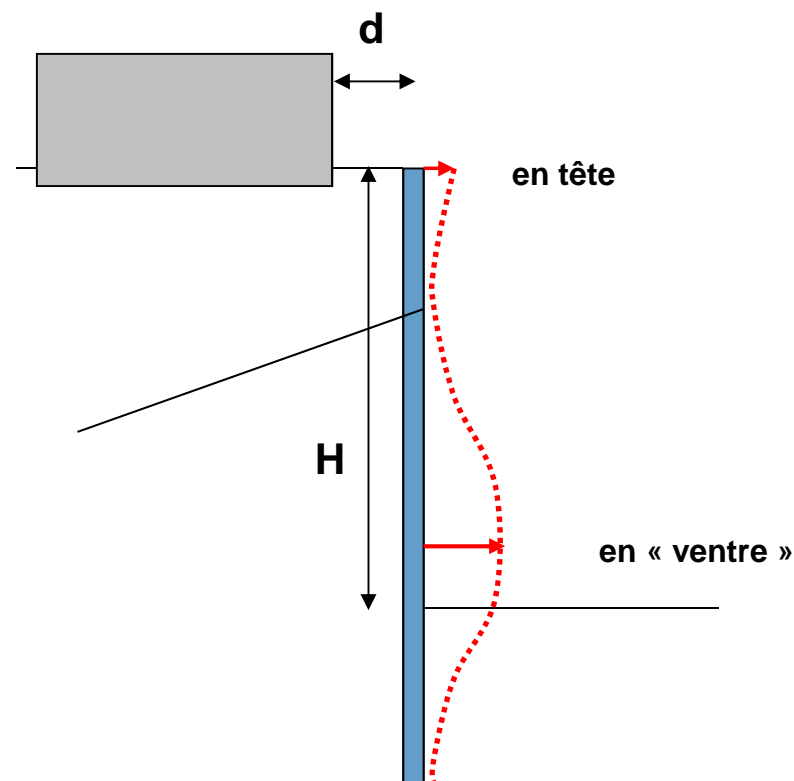
Les points d'amélioration

Définition des seuils de déplacements admissibles

*Relève plutôt de la **Maîtrise d'œuvre géotechnique***

*A définir en **phase conception** (étude G12 ou G2), car c'est souvent le critère dimensionnant*

La norme pourrait aussi « guider » les concepteurs par exemple valeurs seuils dépendant du rapport : « distance avoisinant / hauteur soutènement »





Les points d'amélioration

Les voiles par passes – annexe B

B.2.6 Écran réalisé par passes alternées

(1) Il est admis d'assimiler le comportement d'un écran réalisé par passes alternées (voir NOTE 1) à celui d'un écran continu plan uniforme sous réserve de fixer et d'agréer, avant les études de projet, les conditions d'exécution à respecter et les contrôles d'exécution à faire (voir NOTE 2).





Les points d'amélioration

Les voiles par passes

Problème : justifications ?

*En pratique, **non adapté** à la méthode aux coefficients de réaction (le terrain est partiellement déconfiné lorsqu'on coule le voile)*

*La **prévision des déplacements** est pratiquement impossible*

*La stabilité est principalement conditionnée par les **appuis***



Evoqués très (trop) succinctement dans la norme

Chapitre à développer dans une éventuelle mise à jour... ?



Les points d'amélioration



Confusion Suivi géotechnique / Méthode observationnelle

Voir EC7 – chapitres 2.7 et 4.5

<i>Méthode observationnelle</i> <i>Eurocode 7 – chapitre 2.7</i>	<i>Instrumentation et suivi</i> <i>Eurocode 7 – chapitre 4.5</i>
<i>Méthode de dimensionnement : les résultats des mesures permettent de « ré-ajuster » la conception</i> <i>Pas obligatoire</i>	<i>Méthode de surveillance : permet de vérifier que l'ouvrage se comporte comme prévu</i> <i>Relève d'un principe (P) : Obligatoire</i>



Les points d'amélioration



La reconnaissance et les paramètres géotechniques - Annexe J

J.2 Terrains en place

(1) Il convient de déterminer les propriétés géotechniques des terrains et la valeur caractéristique des paramètres géotechniques conformément aux articles 2.4.3 et 2.4.5.2 de la norme NF EN 1997 (voir NOTE 1), complétés respectivement par les indications des articles J.2.1 et J.2.2 ci-dessous.

(4) Lorsque des essais en laboratoire ne sont pas possibles (par exemple lorsque la nature des terrains ne permet pas le prélèvement d'échantillons représentatifs), il est admis de déterminer les valeurs des propriétés de résistance au cisaillement des terrains à partir de corrélations reconnues (voir NOTES 1 et 2), les reliant à des propriétés de résistance ou à des propriétés de nature et d'état du terrain mesurées en place ou en laboratoire, et/ou tirées de données bibliographiques représentatives.

En pratique, reconnaissances souvent insuffisantes

Les paramètres géotechniques de résistance au cisaillement (C et φ) sont le plus souvent estimés soit par **corrélations** soit par l'« expérience »...



Conclusions



Quelques sujets restent parfois ambigus, à améliorer (seuils de déplacement, voiles par passes,...) ou insuffisamment appliqués (mesure des paramètres géotechniques,...)

Comme toutes les normes d'application géotechniques, ce n'est qu'un guide de dimensionnement. Il n'est rien sans une reconnaissance de qualité et une exécution soignée...

Rôle pédagogique du bureau de contrôle



Conclusions



... Mais globalement :

Progrès

Facilite le dialogue entre les différents intervenants

Clarifie la démarche de dimensionnement

Succès

Connue et couramment utilisée par les BE géotechniques et les Entreprises de soutènement

Exhaustivité, unicité

Document auto-porteur, complet, permet de ne pas oublier un état-limite...



Merci de votre attention