

Les démarches générales applicables à toutes les normes de conception

CFMS, 11 octobre 2012

Catherine Jacquard, FONDASOL

Ammar Dhouib, VINCI

Sommaire

- Domaine d'application,
- Reconnaissances des sols,
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- illustrations de chantier

- **Domaine d'application,**
- Reconnaissances des sols,
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- illustrations de chantier

Eurocodes

- EN 1990 Eurocode : Bases du 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 ouvrages en maçonnerie
- **NF 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 aluminium

Eurocode 7 : EN 1997

calcul géotechnique

5

- Doit être appliquée aux aspects géotechniques du calcul des **bâtiments et ouvrages de génie civil neufs**
- Ne traite pas des exigences particulières du calcul sismique.
- EN 1997-1 (P94-251-1) : juin 2005
règles générales
- EN 1997-2 (P94-252): septembre 2007
reconnaissance des terrains et essais

Annexe nationale à la NF EN 1997:2005

6

- NF P 94-251-1: septembre 2006
- L'application s'appuie sur les documents normatifs:
 - NF P 94-261: fondations superficielles
 - NF P 94-262: fondations sur pieux 2012
 - NF P 94-270: remblais renforcés et clouage 2009
 - NF P 94-281: murs de soutènement
 - NF P94-282: écrans de soutènement 2009
 - NF P 94-290: ouvrages en terre

Classe de conséquence

7

Annexe nationale à la NF EN 1997:2005

Conséquences sur les personnes, sur l'ouvrage à construire ou les constructions avoisinantes en termes sociaux, économiques ou d'environnement:

- Conséquences faibles (CC1): effets faibles ou négligeables
- Conséquences moyennes (CC2): effets modérés
- Conséquences élevées (CC3): effets importants sur les vies humaines et/ou conséquences très importantes

Eurocode 7 :

Catégorie géotechnique

8

- la complexité de chaque étude géotechnique doit être identifiée, ainsi que les risques associés.
 - **Catégorie géotechnique 1**: ouvrages petits et relativement simples, avec un risque négligeable
 - **Catégorie géotechnique 2**: types classiques d'ouvrages et de fondations qui ne présentent pas de risque exceptionnel ou des conditions de terrain ou de chargement difficiles
 - **Catégorie géotechnique 3**: structures ou parties de structures qui sortent des catégories géotechniques 1 et 2.

Devrait normalement faire appel à des dispositions ou **règles alternatives à celles de cette norme**

Eurocode 7 :

Catégorie géotechnique 2

9

- Exemples de structures ou parties de structures qui entrent dans la catégorie géotechnique 2 :
 - fondations superficielles ;
 - fondations sur radiers ;
 - fondations sur pieux ;
 - murs et autres ouvrages de soutènement retenant du sol ou de l'eau ;
 - excavations ;
 - piles et culées de ponts ;
 - remblais et terrassements ;
 - ancrages et autres systèmes de tirants ;
 - tunnels dans les roches dures non fracturées, sans conditions spéciales d'étanchéité ou autres exigences.

Eurocode 7 :

10

Catégorie géotechnique 3

- Dispositions ou règles alternatives à celles de EN 1997
- Exemples de structures ou parties de structures qui entrent dans la catégorie géotechnique 3 :
 - les ouvrages **très grands** ou inhabituels
 - les ouvrages impliquant des risques anormaux ou des conditions de terrain ou de **chargement inusuelles** ou exceptionnellement difficiles ;
 - les ouvrages construits dans des **zones très sismiques** ;
 - les ouvrages situés dans des zones sujettes à des **instabilités ou des mouvements permanents du terrain** qui nécessitent des reconnaissances séparées ou des mesures spéciales.

Bases des justifications

Tableau I.3.1 – Catégories géotechniques et bases des justifications en fonction des classes de conséquence et des conditions de site

Classe de conséquence	Conditions de site	Catégorie géotechnique ^{a)}	Bases des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises ^{b)}
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple ou complexes		
CC3	Simple ou complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis

a) Il n'y a pas de règle établie pour le choix de la catégorie géotechnique. En pratique toutefois, dans le cas des écrans de soutènement, on considère que les ouvrages de moins de 2 m de hauteur et dont la partie en fiche est dans des terrains compacts hors d'eau relève de la catégorie 1, et on classe en catégorie géotechnique 3 les ouvrages à grandes profondeurs, ceux établis dans un site instable, ou dans des conditions de risques sismiques importants, ou dans des sols évolutifs ou sensibles, les ouvrages nucléaires, de stockage GNL, etc.

b) Sans calculs ou calculs simplifiés selon le cas.

(P 94-282)

Durée indicative d'utilisation de projet¹²

Annexe nationale à la NF EN 1997:2005

Tableau AN.1 (NF) — Durée indicative d'utilisation de projet

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet (années)	Exemples
1	10	Structures provisoires ^{a)}
2	25	Éléments structuraux remplaçables, par exemple poutres de roulement, appareils d'appui ^{b)}
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures courantes de génie civil et de bâtiments
5	100	Autres structures de génie civil, ponts et structures monumentales de bâtiments

a) Les structures ou parties de structures qui peuvent être démontées dans un but de réutilisation ne doivent normalement pas être considérées comme provisoires. Voir également la note 3 ci-dessus.

b) Cette catégorie ne concerne normalement pas les ouvrages géotechniques.

NOTE 1 Lorsque la durée d'utilisation du projet n'est pas fixée par voie réglementaire, compte tenu de la diversité de destination des écrans de soutènement (mur de quai, parking enterré, station de métro, station d'épuration, réservoir de stockage enterré, ouvrage nucléaire, etc.), son choix relève normalement du maître d'ouvrage.

- Domaine d'application,
- **Reconnaissances des sols,**
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- illustrations de chantier

Données géotechniques:

14

Prescriptions de EN 1997-1

- Les **informations géotechniques** doivent être toujours rassemblées, enregistrées et interprétées avec soin. Elles doivent comprendre la **géologie**, la **géomorphologie**, la **sismicité**, l'**hydrologie** et l'**histoire du site**. Les indications concernant la **variabilité du terrain** doivent aussi être prises en compte.
- Les reconnaissances géotechniques doivent être programmées en tenant compte des exigences de l'exécution et du comportement de l'ouvrage proposé. Le contenu des reconnaissances géotechniques doit être réexaminé de façon continue à mesure que de nouvelles informations sont obtenues pendant leur exécution.

Données géotechniques:

15

Prescriptions de EN 1997-1

- Les reconnaissances et les essais courants de laboratoire doivent être exécutés et rapportés **conformément à des normes** ou recommandations internationales reconnues. Les **écarts** par rapport à ces normes et les prescriptions supplémentaires imposées aux essais doivent **être rapportées**
- Renvoie à EN 1997-2 pour les essais

EN 1997-2

- Reconnaissances du terrain
- Évaluation des ouvrages existants
- Histoire de l'aménagement du site et alentours
- Enquête documentaire avant définition du programme de reconnaissance:
 - Cartes topographiques
 - Anciens plans de ville (occupations antérieures)
 - Cartes et descriptions géologiques
 - Cartes de géologie appliquée
 - Cartes et descriptions hydrogéologiques
 - Cartes géotechniques
 - Photographies aériennes et interprétations antérieures de photographies
 - Reconnaissance géophysiques
 - Reconnaissances antérieurs sur le site et dans ses environs
 - Expériences antérieures dans la zone
 - Conditions climatiques locales

EN 1997-2

- Les reconnaissances doivent permettre l'évaluation de:
 - Adéquation du site avec l'ouvrage proposé et le niveau de risque acceptable
 - Déformation du terrain provoqué par la structure ou résultant des travaux, sa répartition, son évolution dans le temps
 - La sécurité par rapport aux états limites
 - Les charges transmises à l'ouvrage par le terrain
 - Les méthodes de fondation
 - La séquence des travaux de fondation
 - Les effets de la construction et des travaux sur l'environnement
 - Le type et l'étendue de la pollution du terrain
 - L'efficacité des mesures prise pour contenir la pollution ou y remédier

EN 1997-2

- Reconnaissance en vue de l'utilisation comme matériaux de construction
 - Aptitude à l'utilisation prévue
 - Importance des dépôts
 - Possibilité d'extraction et de traitement
 - Méthodes envisagées
 - Mise en œuvre et modification éventuelle des propriétés pendant le transport, la mise en place, le traitement
 - Les effets du trafic de chantier et de charges lourdes
 - Les méthodes éventuelles de pompage, excavation, les effets des précipitations, la résistance à l'altération, la sensibilité au retrait, gonflement, à la désagrégation

EN 1997-2

- Eau souterraine:

Les informations doivent permettre l'évaluation:

- Possibilité et nature des travaux de rabattement
- Les éventuels effets préjudiciables de l'eau: rupture d'origine hydraulique, pression d'écoulement excessive, érosion
- Toute mesure nécessaire à la protection de la structure (imperméabilisation...)
- Les effets du rabattement sur l'environnement
- La capacité du terrain à absorber l'eau pendant la construction
- La possibilité d'utiliser l'eau (composition chimique) à des fins de construction

EN 1997-2

- Reconnaissance par phases
 - Reconnaissances préliminaires pour implantation et pré-dimensionnement d'un ouvrage
 - Reconnaissance pour le dimensionnement
 - Contrôle et suivi

EN 1997-2

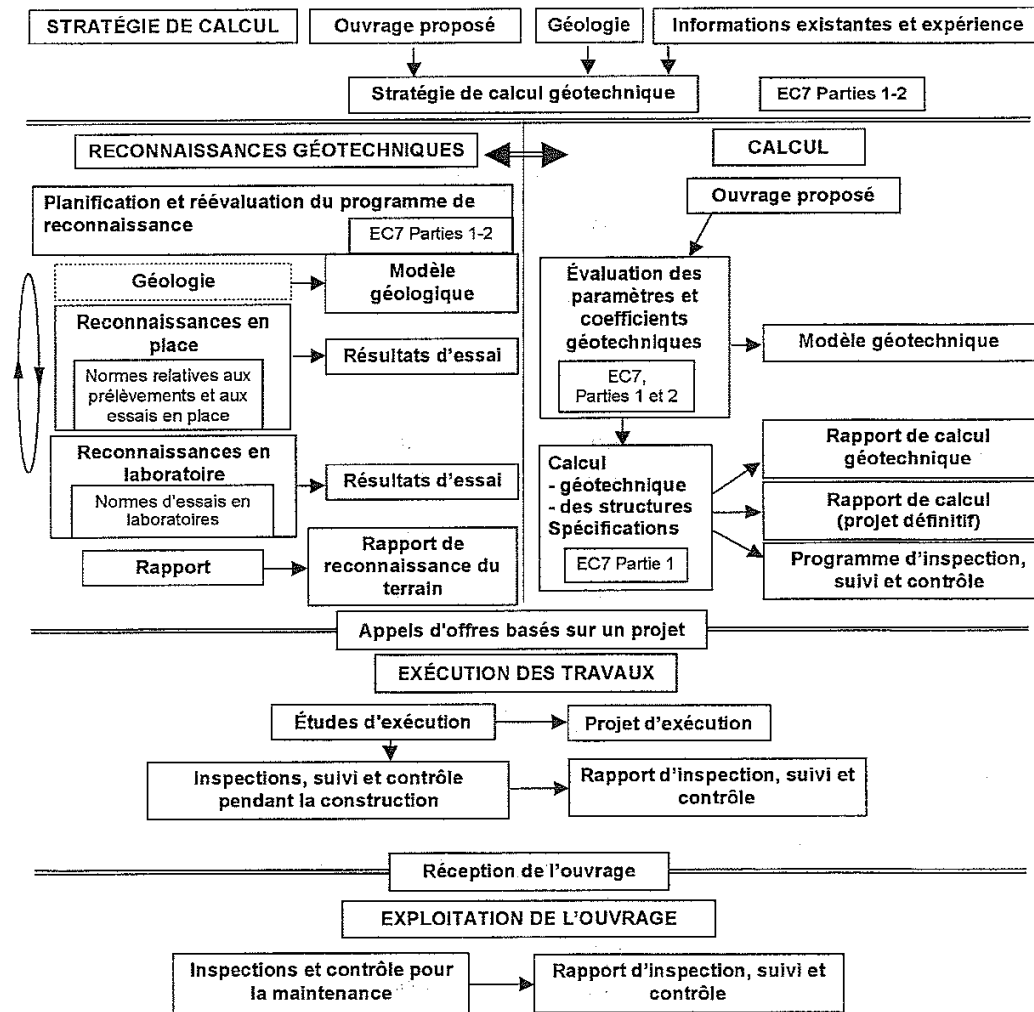
- Prescriptions sur l'implantation, la profondeur des sondages, en fonction de la topographie, de la géologie, et du type de projet :

annexe B (informative)

- Ouvrages de grande hauteur
- Déblais/remblai
- Ouvrages linéaires
- Tunnels et excavations souterraines
- Écrans d'étanchéité
- Excavation
- Groupe de pieux

Synopsis des reconnaissances et études (annexe B)

22



- Domaine d'application,
- Reconnaissances des sols,
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- Quelques illustrations de chantier

Eurocode 7 : exigences de calcul

24

- Il convient de considérer les facteurs suivants :
 - les conditions du site en termes de stabilité globale et de mouvements du terrain ;
 - la nature et la taille de la structure et de ses éléments, y compris des exigences spéciales comme la durée de vie de calcul ;
 - les conditions relatives au voisinage du projet (par exemple, structures avoisinantes, circulation, réseaux divers, végétation, produits chimiques dangereux) ;
 - les conditions de terrain ;
 - l'état des eaux souterraines ;
 - la sismicité régionale ;
 - l'influence de l'environnement (hydrologie, eaux superficielles, affaissements et subsidence, variations saisonnières de la température et de l'humidité).

Eurocode 7 : valeurs des actions

25

- Valeurs caractéristiques et valeurs représentatives: doivent être déterminées conformément à
 - EN 1990:2002 (Bases du calcul des structures)
 - et aux différentes parties de EN 1991 (Actions sur les structures)

Eurocode 7 : valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques

26

- 1)P doit s'appuyer sur les valeurs mesurées et les valeurs dérivées des essais en place et en laboratoire, complétées par les enseignements de l'expérience.
- (2)P doit être une estimation prudente de la valeur qui influence l'occurrence de l'état limite.

Résultats d'essais et valeurs dérivées

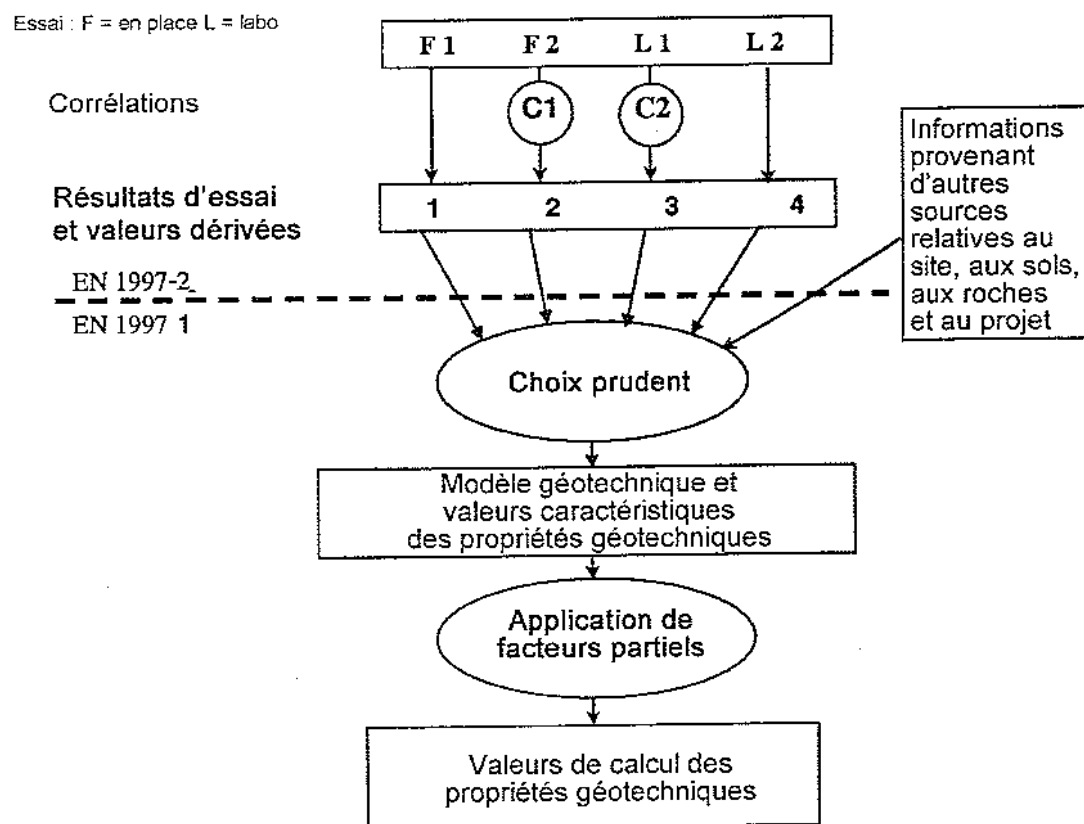


Figure 1.1 — Cadre général pour le choix des valeurs dérivées des propriétés géotechniques

Eurocode 7 : valeurs caractéristiques X_k des paramètres géotechniques

28

- (4) P doit tenir compte de:
 - l'existence d'informations préalables, d'ordre géologique ou autre, telle que des données de projets antérieurs ;
 - la variabilité des valeurs mesurées des propriétés et les autres informations pertinentes, par exemple, à partir de connaissances existantes ;
 - le volume des investigations menées en place et en laboratoire ;
 - le type et le nombre d'échantillons ;
 - les dimensions de la zone du terrain qui gouverne le comportement de l'ouvrage géotechnique pour l'état limite considéré ;
 - la capacité de l'ouvrage géotechnique à transférer les charges des zones faibles aux zones plus résistantes du terrain.

Valeurs de calcul

- Valeur de calcul des actions F_d
 - $F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}$ (γ_F dans l'annexe A, et Annexe Nationale)
 - $F_{rep} = \psi \cdot F_k$ (ψ dans la norme EN 1990:2002)
- Valeur de calcul des paramètres géotechniques X_d
 - $X_d = X_k / \gamma_M$ (γ_M dans l'annexe A, et Annexe Nationale)
- Valeur de calcul des données géométriques a_d
 - $a_d = a_{nom} \pm \Delta a$ (γ_M dans l'annexe A, et Annexe Nationale)

État limite ultime

- EQU: perte d'équilibre de la structure ou du terrain;
- STR: rupture interne ou déformation excessive de la structure ou d'éléments de structure (semelles, pieux ou murs de sous-sol);
- GEO: rupture ou déformation excessive du terrain, dans lequel la résistance des sols ou des roches contribue de façon significative à la résistance ;
- UPL: soulèvement global de la structure ou du terrain provoqué par la pression de l'eau (poussée d'Archimède) ou par d'autres actions verticales ;
- HYD: soulèvement local du terrain, érosion interne ou érosion régressive du terrain, sous l'effet des gradients hydrauliques .

ELU STR-GEO : illustrations

31

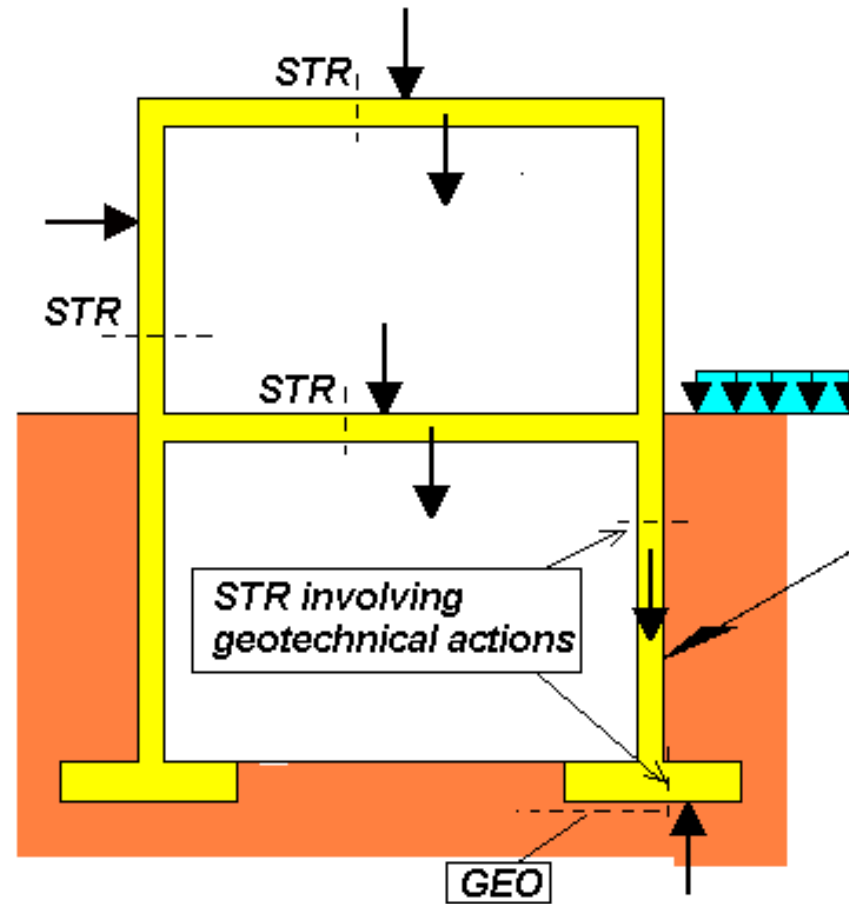
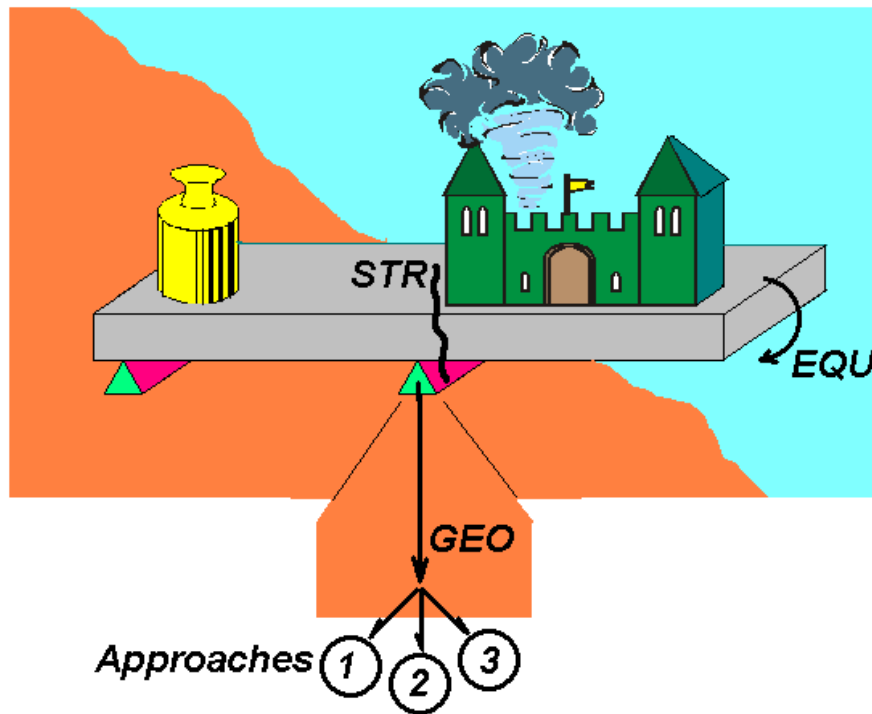
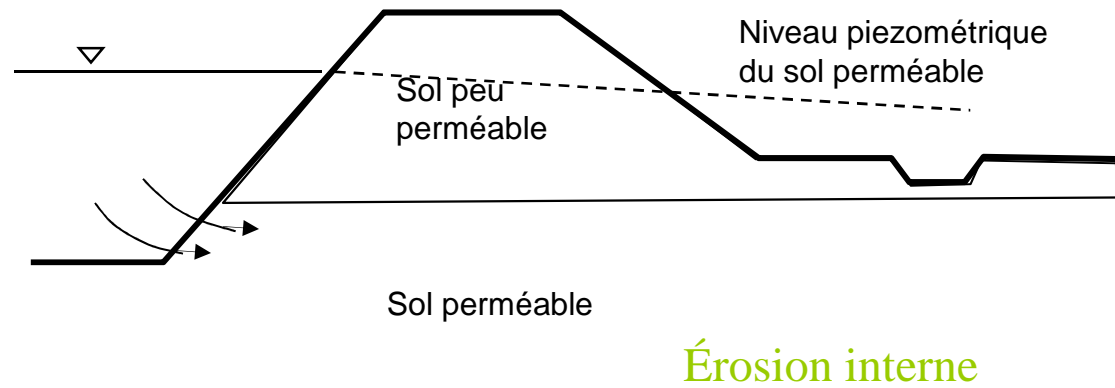
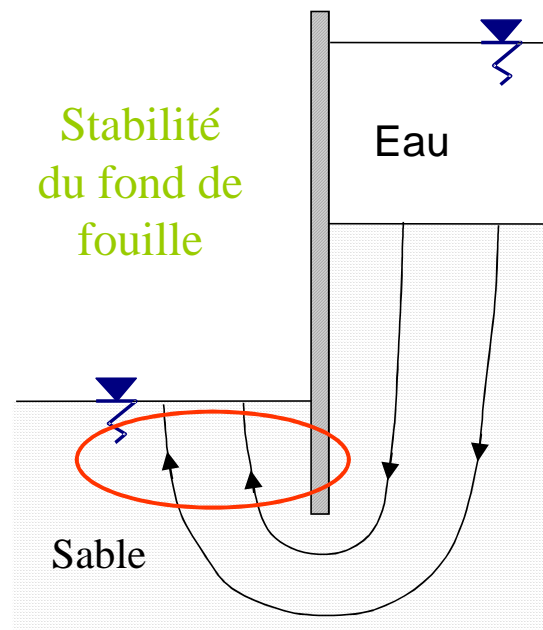
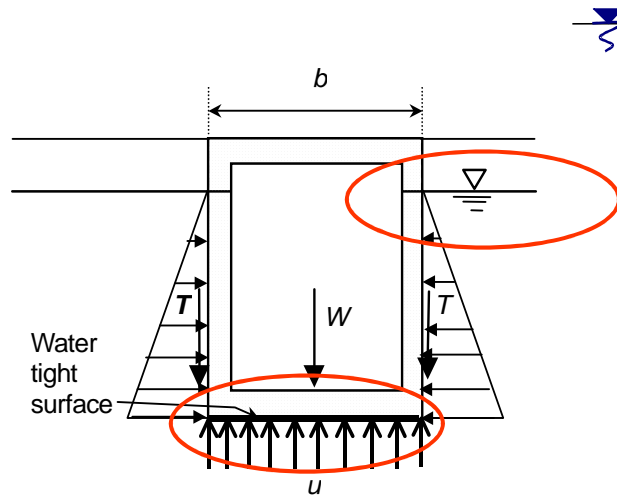


Illustration des états limites STR, EQU & GEO - J.A. Calgaro

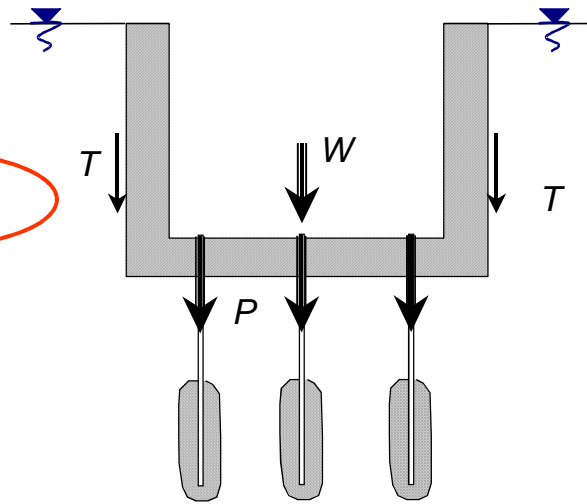
ELU HYD : illustrations



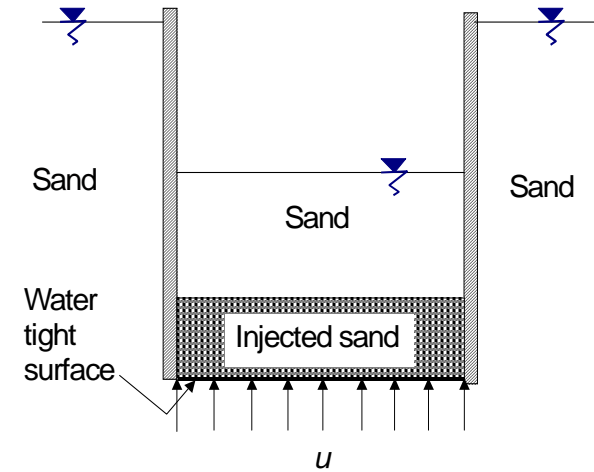
ELU UPL : illustrations



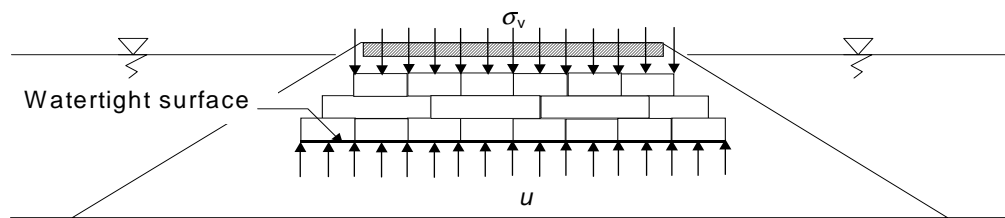
Structure creusée enterrée



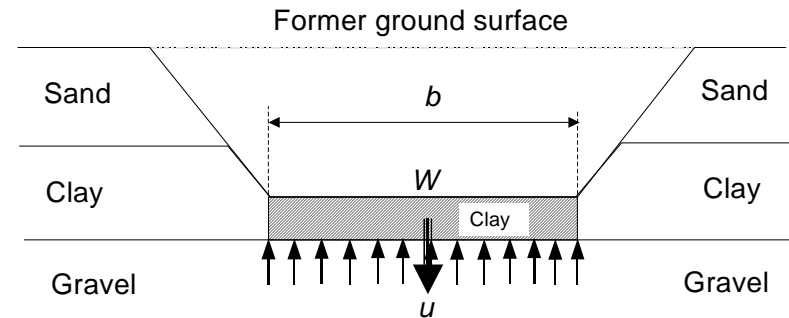
Structure ancrée



Radier sous nappe



Remblai léger inondé



Base d'une excavation

Les approches de calcul: NF EN 1997-1/NA

34

France: approches de calcul 2 et 3:

- Approche de calcul 2: les facteurs sont appliqués aux actions ou aux effets des actions et, aux résistances.

$A1 \llcorner + \llcorner M1 \llcorner + \llcorner R2$

- Approche de calcul 3: les facteurs sont appliqués aux actions ou aux effets des actions provenant de la structure et, aux paramètres de résistance du terrain (paramètres des matériaux).

Vérification de stabilité générale

$A1^* \llcorner + \llcorner M2 \llcorner + \llcorner R3$

$A2^+ \llcorner + \llcorner M2 \llcorner + \llcorner R3$

où «+» signifie : «à combiner avec»

* actions provenant de la structure

+ actions géotechniques

Actions dues à l'eau: NF EN 1997-1/NA

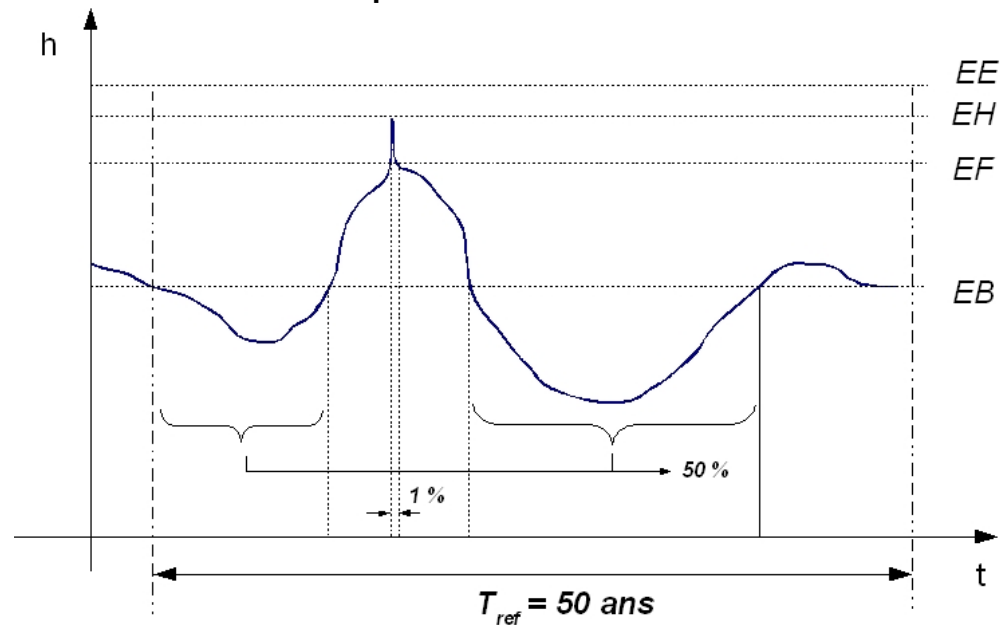
35

Niveaux définis en référence à NF P06-1022-1:

- Niveau quasi-permanent: Eaux basses
- Niveau fréquent: Eaux fréquentes
- Niveau caractéristique: Eaux hautes
- Niveau accidentel: Eaux exceptionnelles

Les actions dues à l'eau sont des actions permanentes

Caractère variable: différentes situations de calcul



- Domaine d'application,
- Reconnaissances des sols,
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- illustrations de chantier

Section 4 Surveillance de l'exécution³⁷ des travaux, suivi et entretien

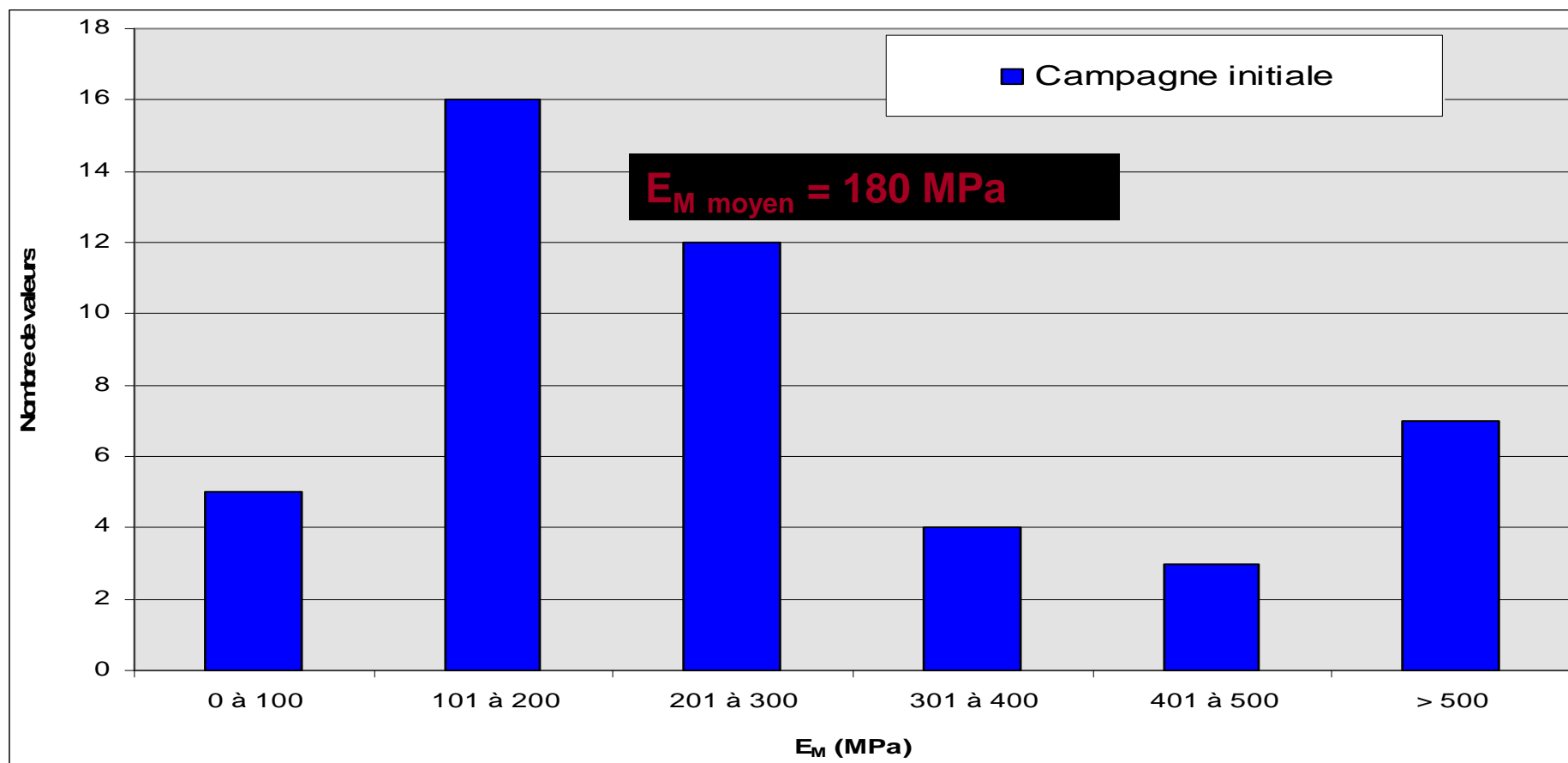
- 4.1 Généralités
- 4.2 Surveillance
- 4.3 Vérification de l'état des terrains
- 4.4 Contrôle de l'exécution des travaux
- 4.5 Instrumentation et suivi (surveillance de l'ouvrage)
- 4.6 Entretien

2.7: méthode observationnelle

- Quand il est difficile de prévoir le comportement géotechnique d'un ouvrage
- Les exigences minimales:
 - les limites du comportement acceptable de l'ouvrage doivent être établies ;
 - le domaine des comportements possibles doit être analysé et on doit montrer qu'il existe une probabilité acceptable que le comportement réel soit compris dans le domaine des comportements acceptables ;
 - un plan d'instrumentation doit être établi;
 - un plan d'actions de sauvegarde doit être établi

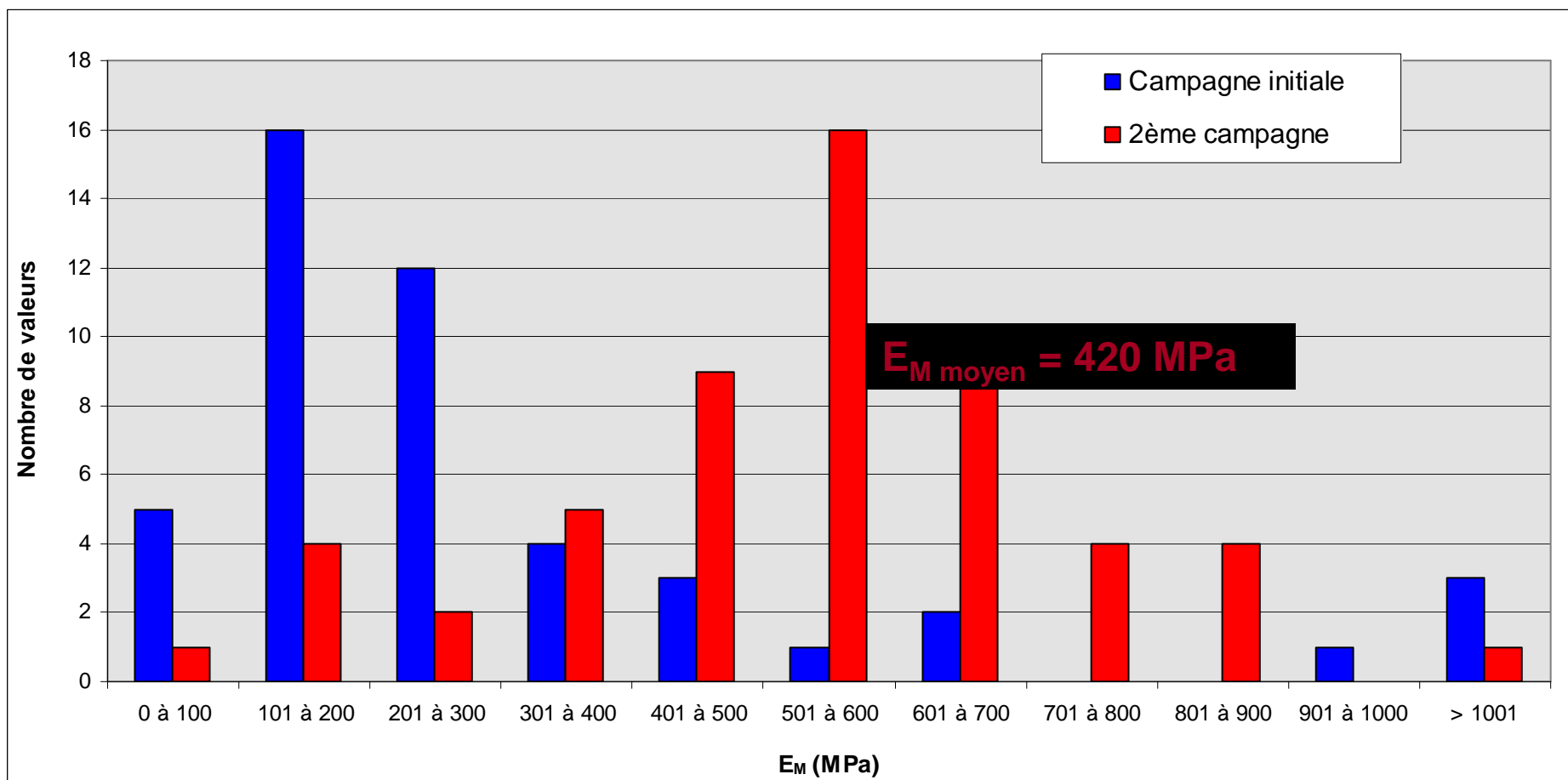
- Domaine d'application,
- Reconnaissances des sols,
- Principes de calculs,
- Surveillance des travaux/ méthode observationnelle
- illustrations de chantier

Modules pressiométriques des marnes, grès et poudingues du Stampien campagne initiale : sans calibrage de la sonde et correction des modules

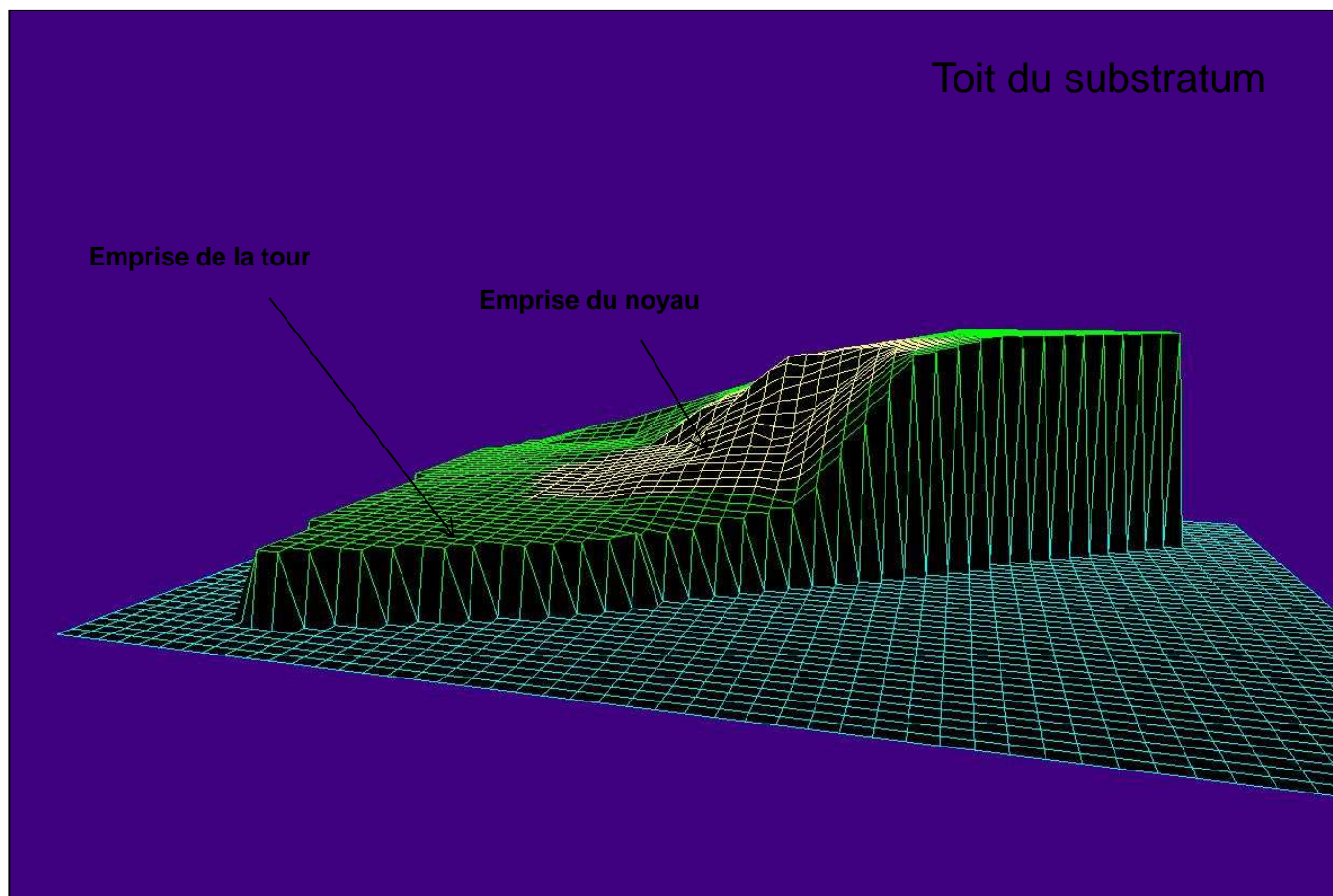


Modules pressiométriques des marnes, grès et poudingues du Stampien 2^{ème} campagne avec calibrage de la sonde et correction des modules

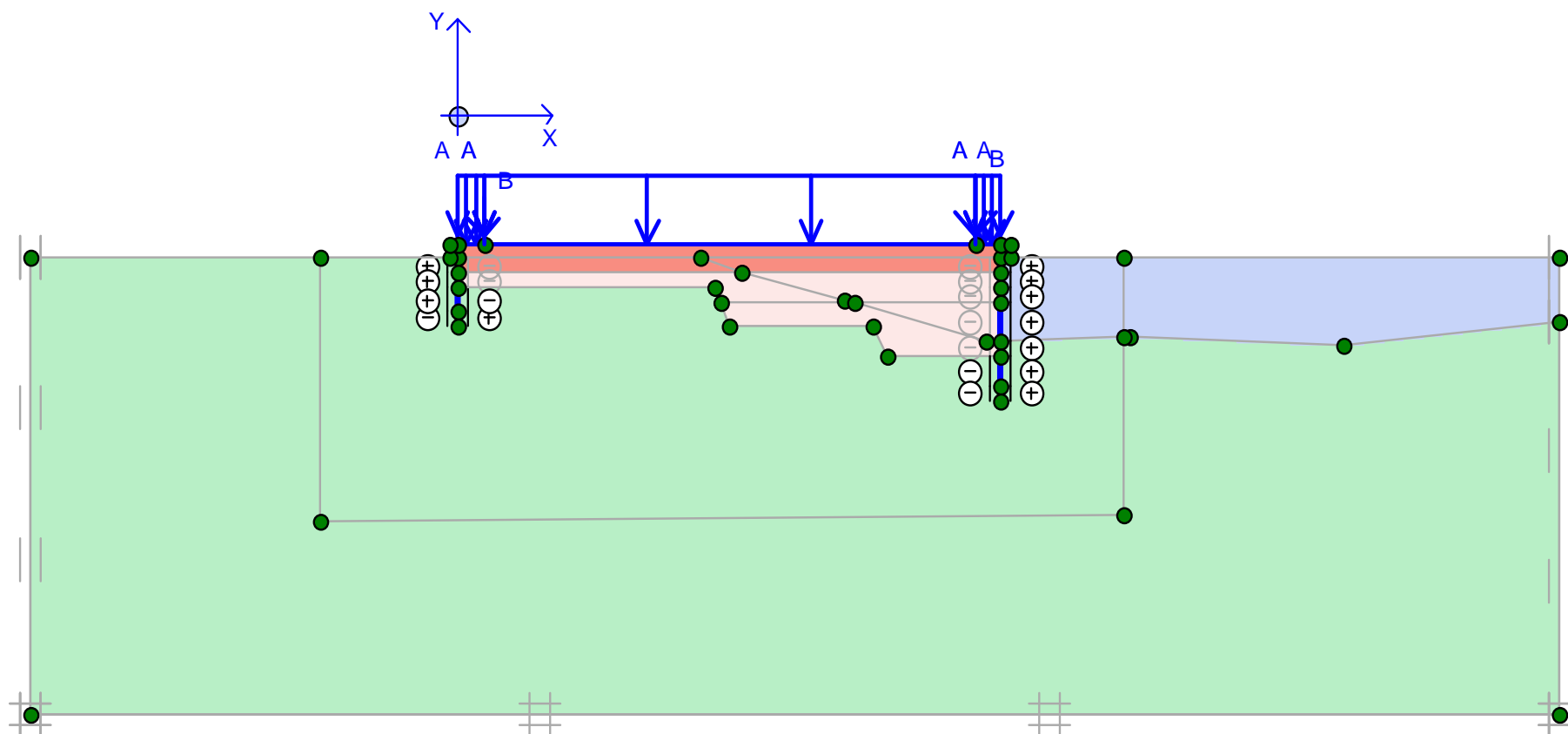
41



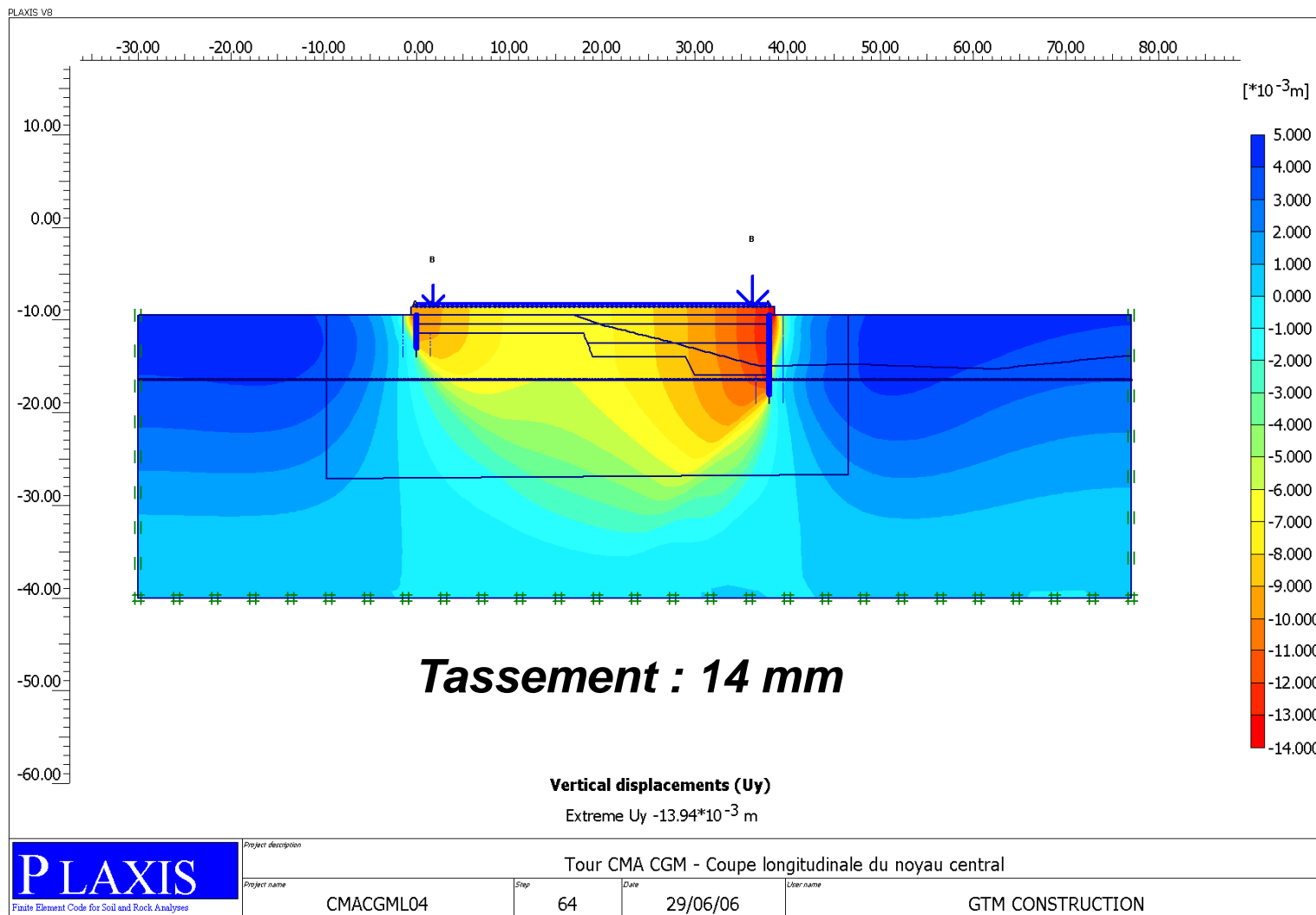
Cartographie du substratum



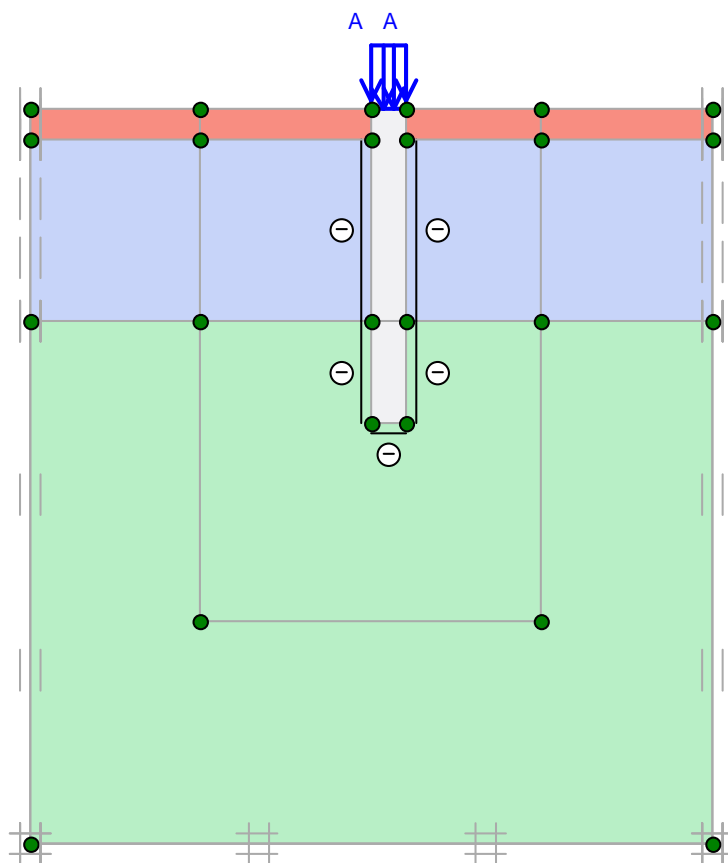
Modélisation du noyau



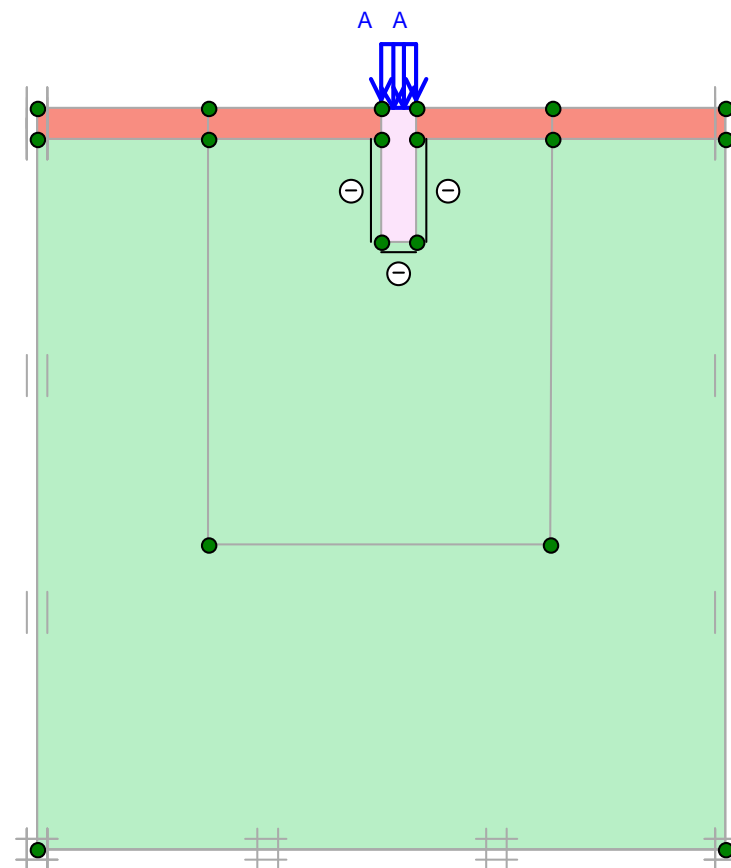
Isovaleurs des tassements du noyau de la tour



Modélisation des barrettes les plus proches du noyau



C33



C35

Tassement barrettes : 13 mm

