

Construire dans l'argile : regard croisé franco-belge

Colonnes ballastées à base de granulats recyclés

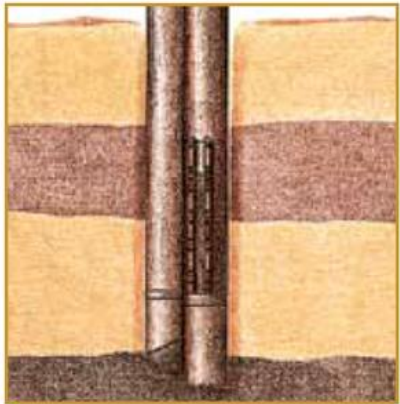
Smet F&C – ir. J. Verstraelen



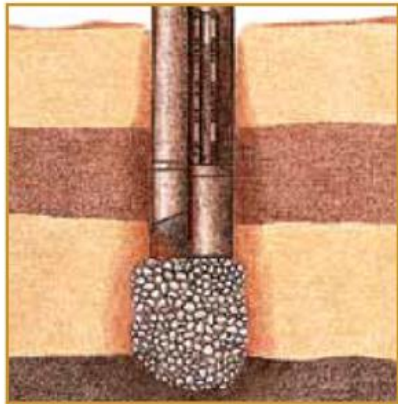
Méthode d'installation

Colonne ballastée à sas

Colonne ballastée dont le remplissage s'effectue par la base, avec application quasi constante d'une pression d'air sur le matériau, sauf lors du remplissage du tube d'alimentation.



vibrofonçage



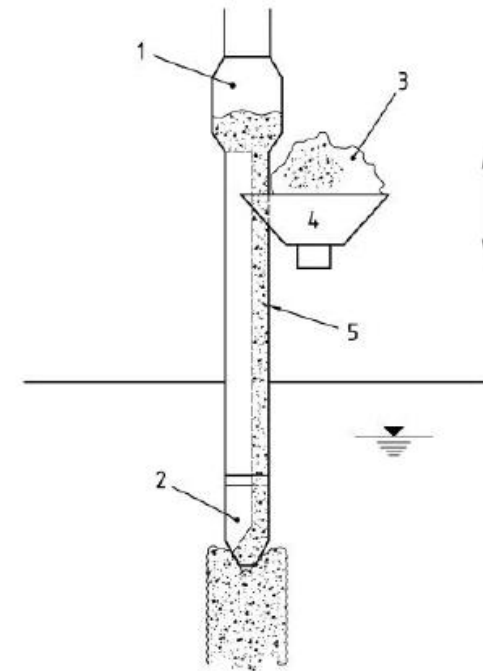
compactage



Ø selon capacité du sol

Procédé par voie sèche en pied

NBN EN 14731 – Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Amélioration des massifs de sol par vibration



Légende

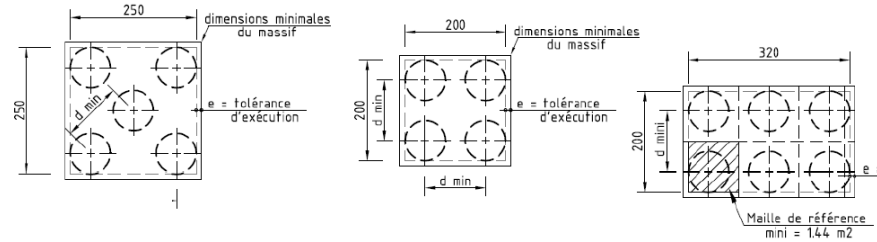
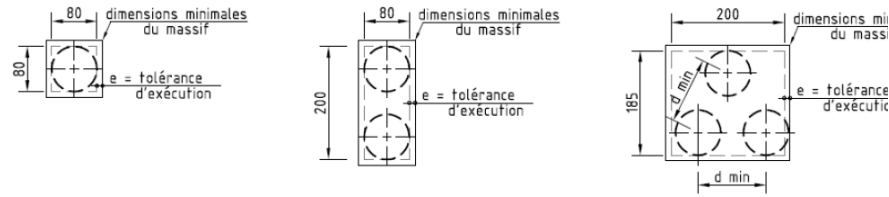
- 1 Chambre de compression
- 2 Vibreur
- 3 Stock de pierres
- 4 Réservoir d'alimentation
- 5 Tube d'alimentation

Figure B.3 — Procédé par voie sèche en pied

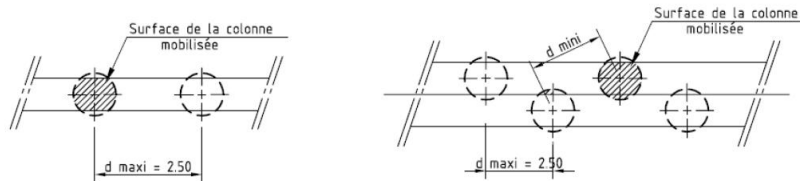
Domaine d'application

Selon le type de fondation

- Semelles isolées

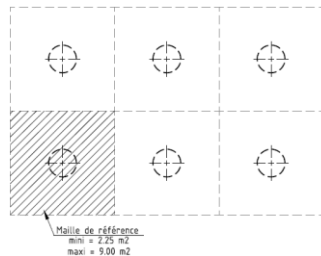


- Semelles filantes



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

- Dallage



Selon le type d'ouvrage

- Halls de stockage
- Bâtiments industriels et commerciaux
- Silos et réservoirs de toute nature
- Ouvrages hydrauliques étanches (réservoirs, station d'épuration)
- En génie civil (routes, remblais, ouvrages d'art, murs de soutènement) ou maritime (renforcement de fonds marins, lacustres ou fluviaux)
- Sous fondations superficielles de bâtiments

Dimensionnement

Charge admissible globale du sol amélioré après traitement et justification des différents types de fondations vis-à-vis des mécanismes de rupture:

Rupture par expansion latérale de la colonne

$$q_{re} = \sigma_r \cdot \tan^2(\pi/4 + \varphi'_c/2) + 2c\sqrt{\tan^2(\pi/4 + \varphi'_c/2)}$$

Dans le cas du pressiomètre :

$$\sigma_r = p_{ie}^*$$

où p_{ie}^* est la pression limite nette équivalente calculée selon la formule suivante :

- $p_{ie}^* = \min(p_{ie}^*[z])$ sur la hauteur de colonne dans chaque couche ;
- avec $p_{ie}^*[z] =$ moyenne géométrique des p_{ie}^* sur une hauteur de $2 \varnothing_{CB}$ centrée sur z , mais limitée à 1,5 fois la plus faible valeur des p_{ie}^* sur cette hauteur $2 \varnothing_{CB}$.

Ou dans le cas du pénétromètre statique (CPT) :

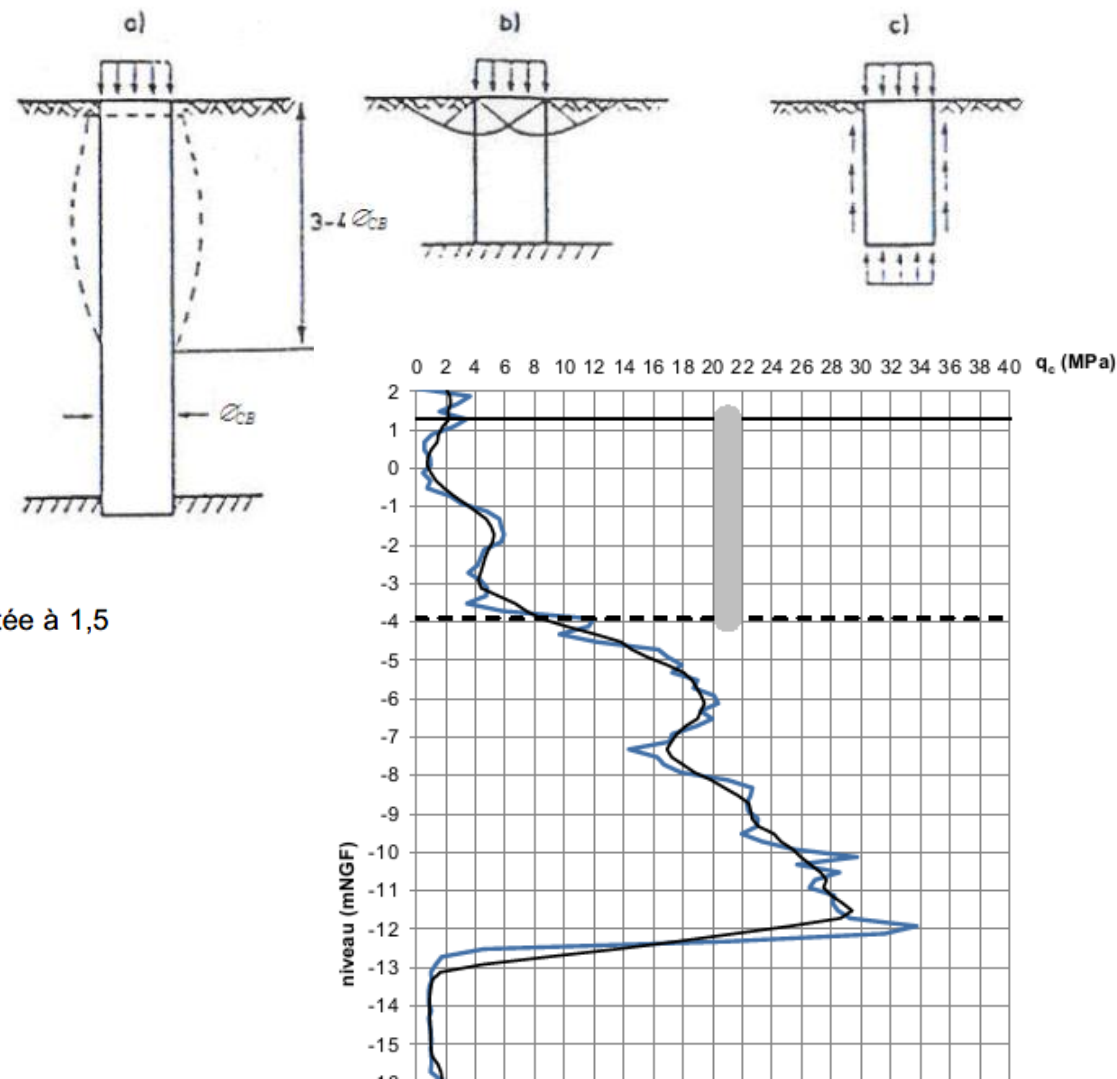
$$\sigma_r = q_{ce}/3$$

où q_{ce} est la résistance de pointe équivalente calculée selon la formule suivante :

- $q_{ce} = \min(q_{ce}[z])$ sur la hauteur de colonne dans chaque couche ;
- avec $q_{ce}[z]$ calculée suivant la formule ci-dessous :

$$q_{ce}[z] = \frac{1}{2D} \int_{z-D}^{z+D} q_c(z) dz \quad \text{où } D = \varnothing_{CB}$$

- correspondant à une moyenne sur une hauteur de $2 \varnothing_{CB}$ centrée sur z .



Dimensionnement

Tassement absolu des divers éléments de structure, justification des tassements différentiels:

Modélisation

Le sol renforcé est représenté par une cellule unitaire axisymétrique (colonne ballastée + sol environnant)

Fondation rigide, chargement uniforme

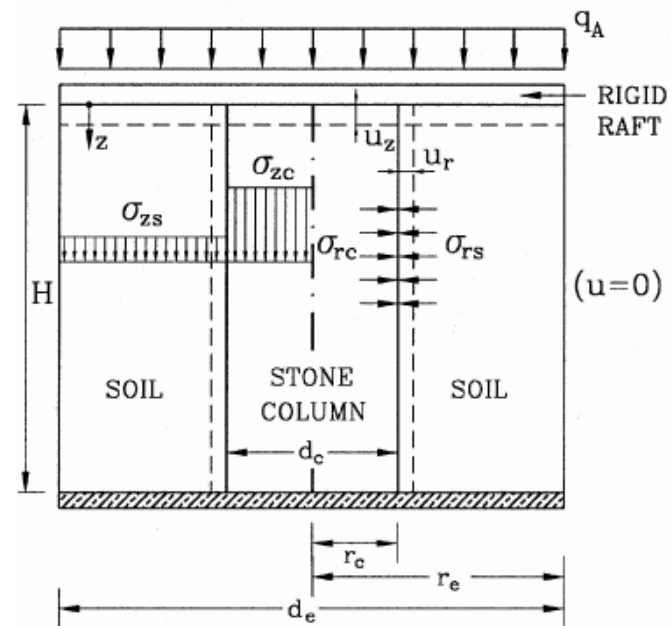
Colonne considérée comme drainante, sol mou supposé élastique

Comportement des matériaux

Sol : élastique linéaire (module œdométrique E_{oed})

Colonne ballastée : élasto-plastique Mohr–Coulomb, avec plasticité confinée et dilatance éventuelle

La colonne reprend une part majoritaire des contraintes verticales appliquées



Lorsque la contrainte dépasse une charge, la colonne plastifie progressivement depuis la surface. Le sol reste essentiellement élastique

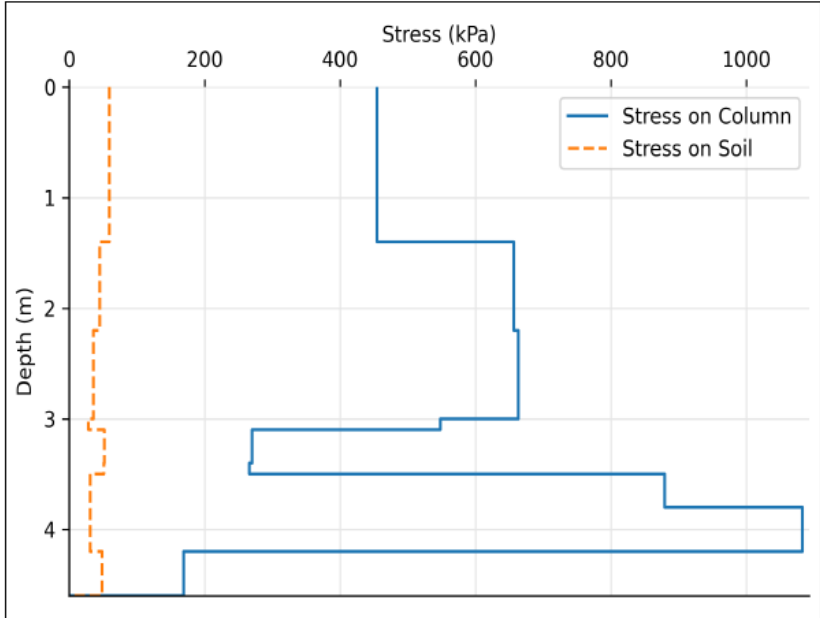
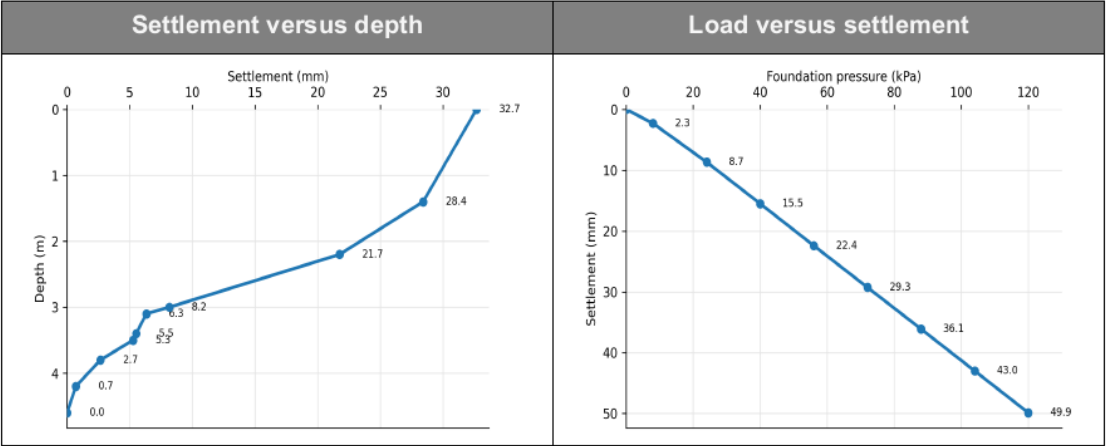
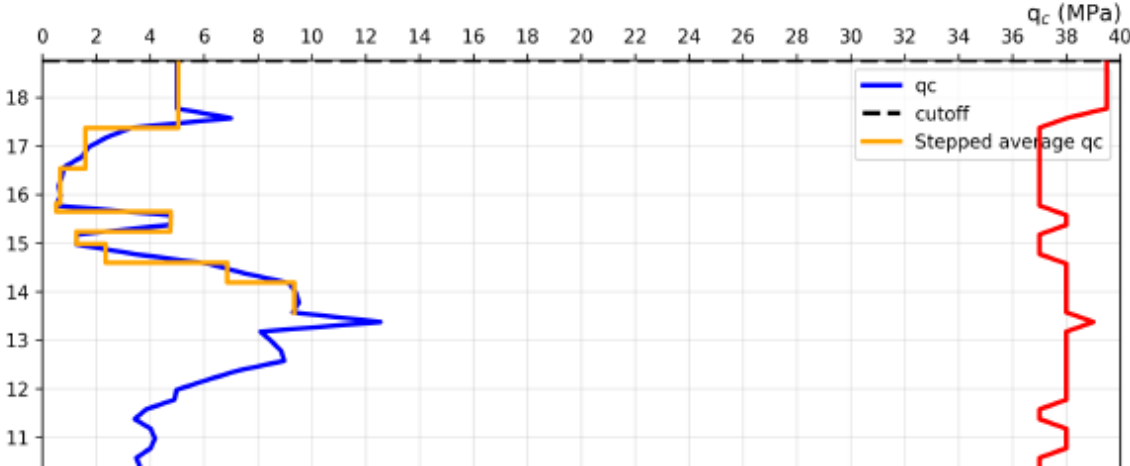
Paramètres influents

- espacement des colonnes d_e/d_c ,
- rapport de rigidité E_c/E_s ,
- **angle de frottement et dilatance de la colonne**,
- coefficient de pression latérale initial K_{init} (après installation des colonnes).

Dimensionnement

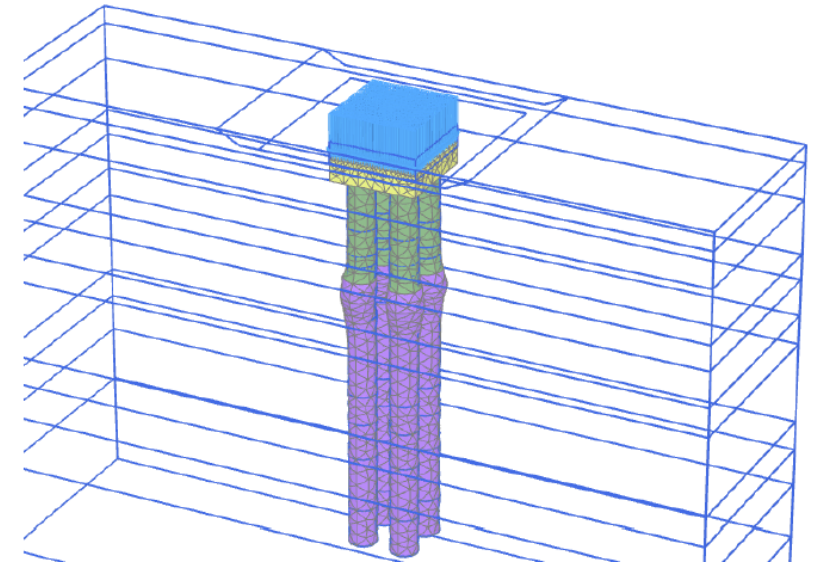
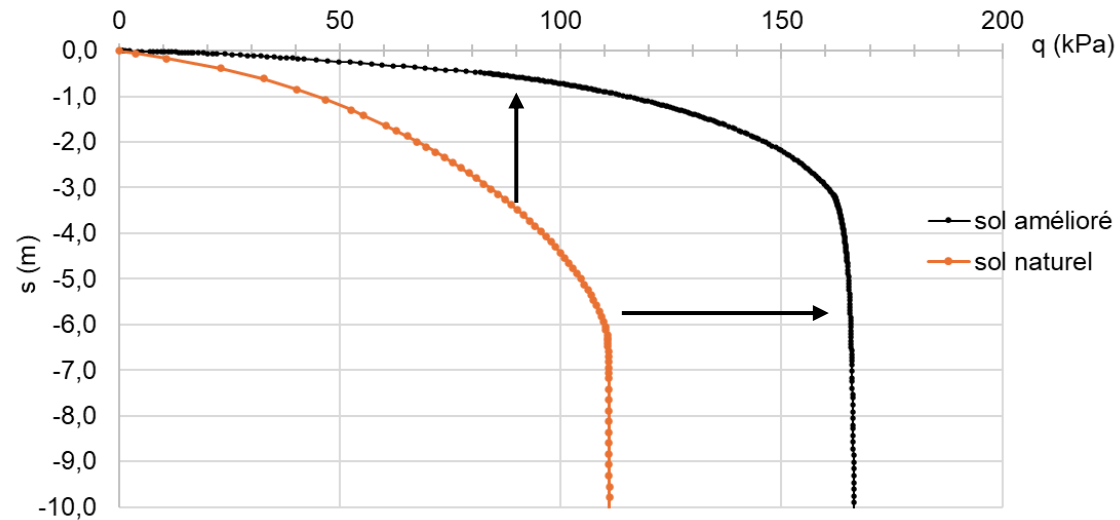
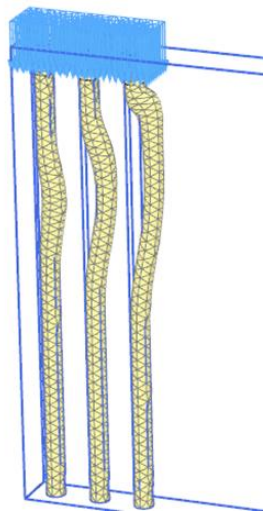
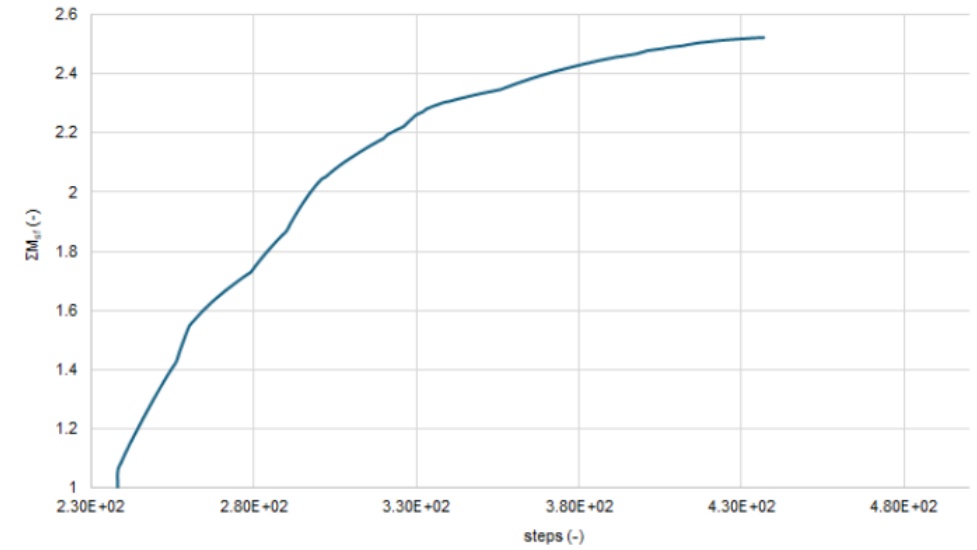
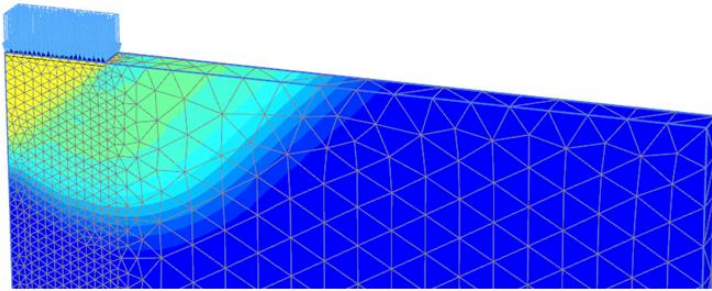
Méthodes analytiques

Original CPT data with stepped average qc values



Dimensionnement

Méthodes numériques



L'application dans des argiles

RFG 136:

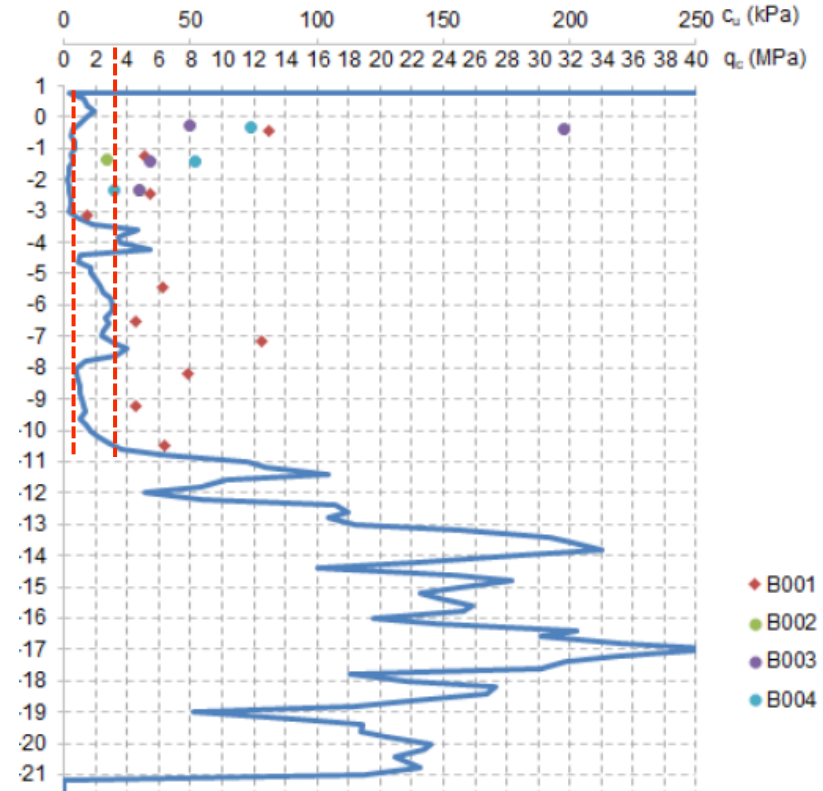
L'étreinte latérale fournie par le sol encaissant est un facteur déterminant dans l'exécution et le comportement de la colonne vis-à-vis de la rupture

Vases et argiles molles

- Perte à feu supérieure à 5%
- $c_u < 20\text{kPa}$ soit $q_c < 0,3\text{MPa}$

RFG 136:

À moins de dispositions spécifiques particulières telles que préchargement, consolidation, étude spécifique de compatibilité...



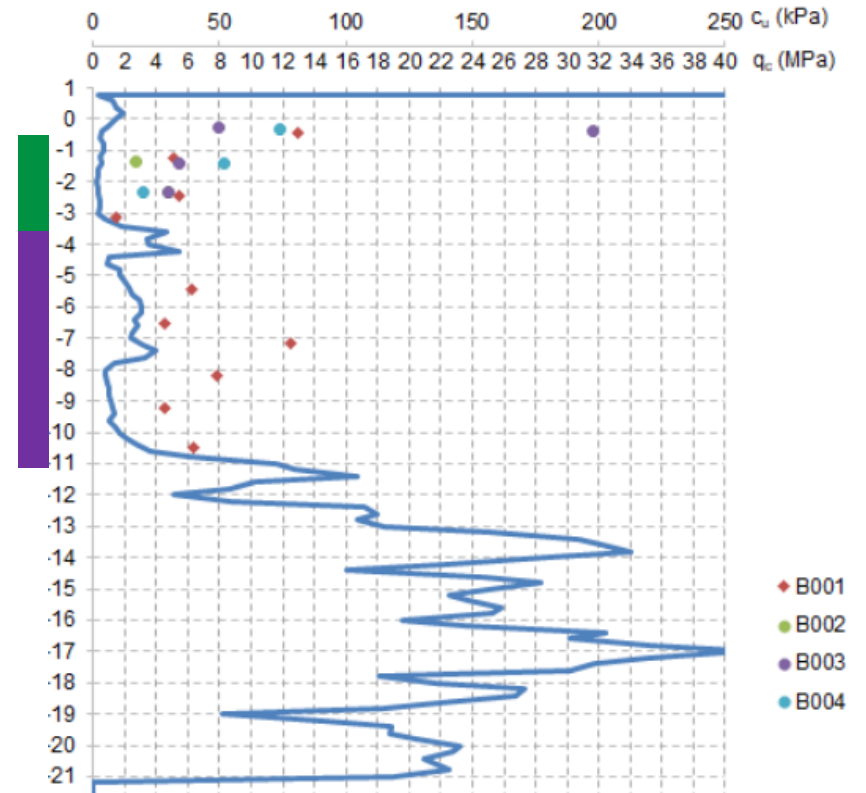
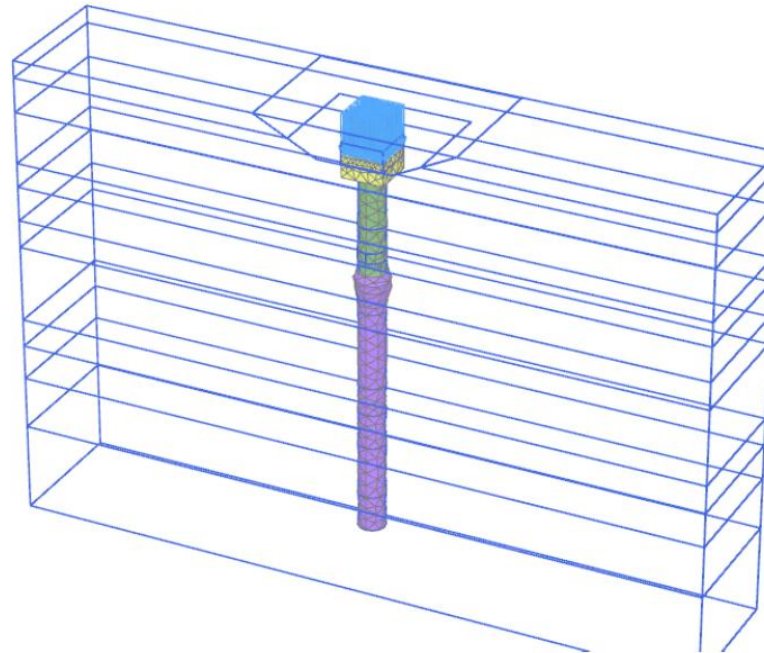
L'application dans des argiles

Colonnes (partiellement) cimentées

Augmenter la cohésion de la colonne

$$q_{re} = \sigma_r \cdot \tan^2(\pi/4 + \varphi'_c/2) + 2c\sqrt{\tan^2(\pi/4 + \varphi'_c/2)}$$

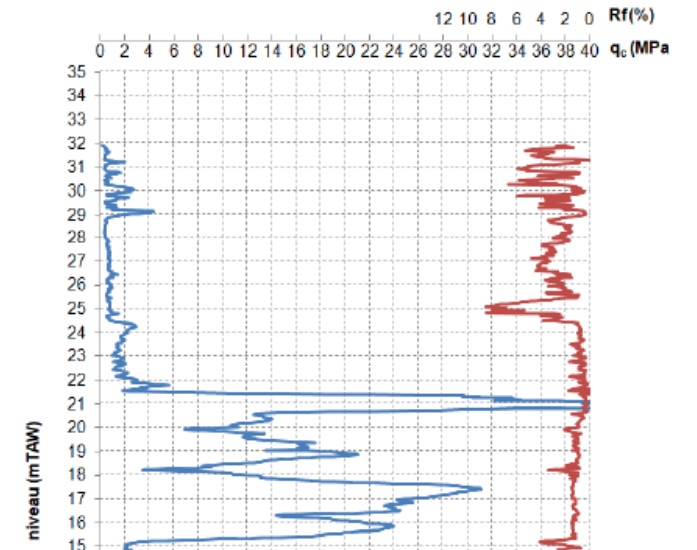
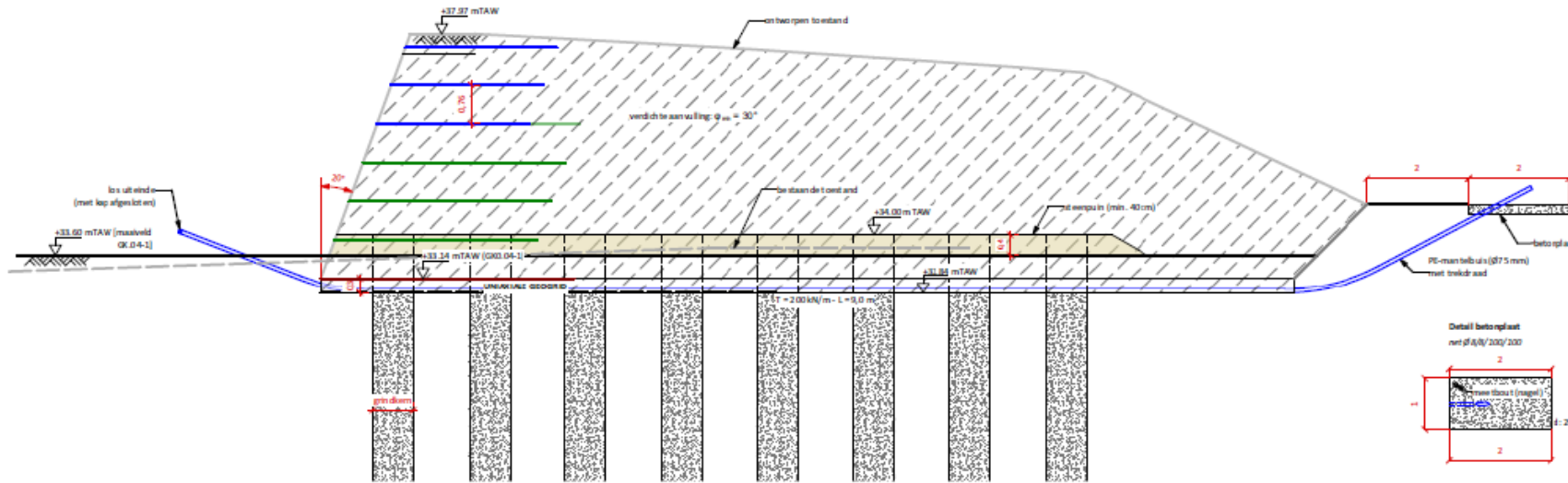
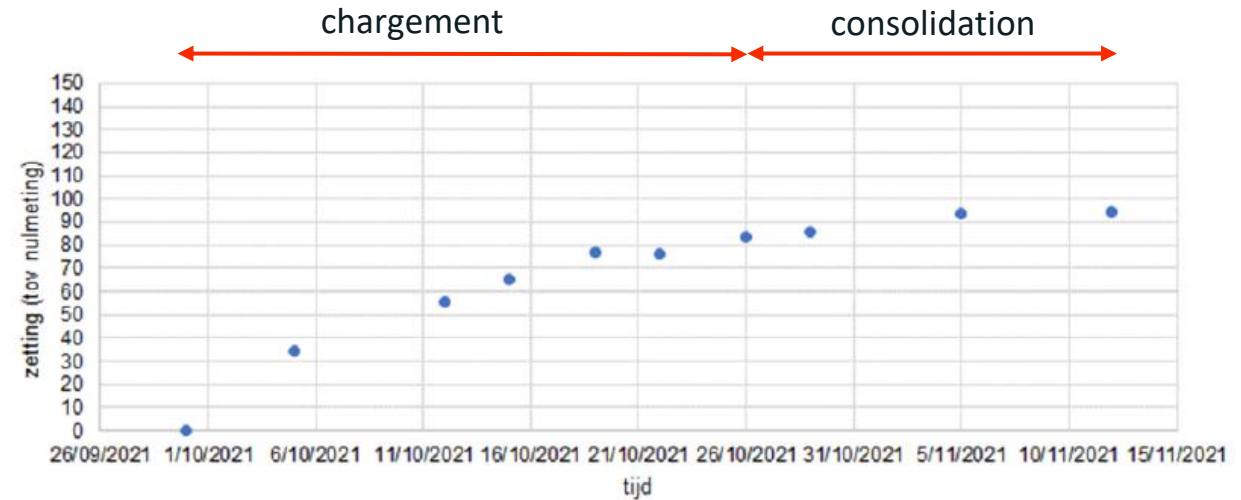
Comportement proche de celui des inclusions rigides



L'application dans des argiles

Des colonnes comme consolidation accélérée

Similaire aux drains verticaux, avec en complément une diminution des tassements et une accélération de la consolidation (liée aux dimensions des colonnes)



L'application des granulats recyclés

RFG 136 – critères pour les matériaux d'apport

- *Le choix se porte sur des graves naturelles, roulées ou concassées*
- *Sauf justification spécifique démontrant l'absence de désordres à court et à long termes (gonflement, pollution, réaction physico-chimique...), les matériaux recyclés ne sont pas admis*
- *Caractéristiques minimales:*
 - $LA < 35$
 - $MDE < 35$
 - $LA + MDE < 60$
- *Le passant inférieur à 80 μm est inférieur à 5%*



Mechanische en fysische eigenschappen van toelagmaterialen

Los Angeles coëfficiënt (LA)	26
Micro-Deval coëfficiënt (MDE)	9

Omschrijving component

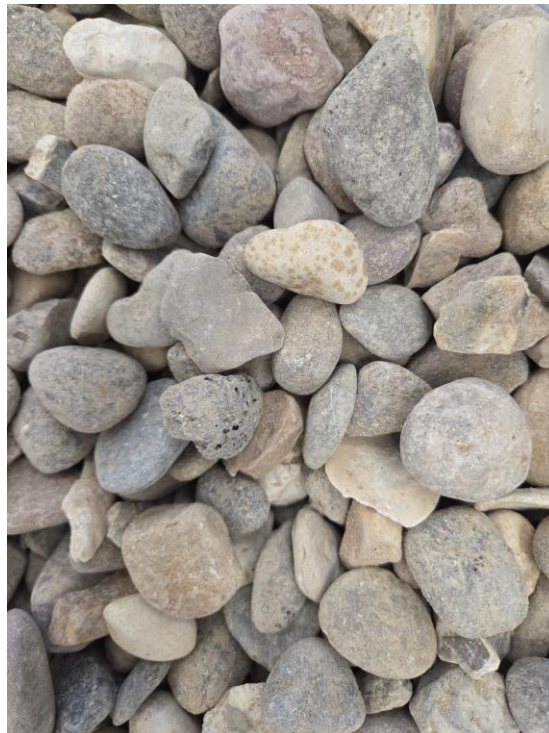
Los Angeles coëfficiënt (LA)	38
LA : 1	Startdatum analyse 22-04-2025
individuele micro-Deval coëfficiënt analysemonster 1	21.8
MDE : 1	Startdatum analyse 15-04-2025
individuele micro-Deval coëfficiënt analysemonster 2	33.8
MDE : 1	Startdatum analyse 15-04-2025
gemiddelde micro-Deval coëfficiënt	28
MDE : 1	Startdatum analyse 15-04-2025

L'application des granulats recyclés

Calcaire concassé 14/20



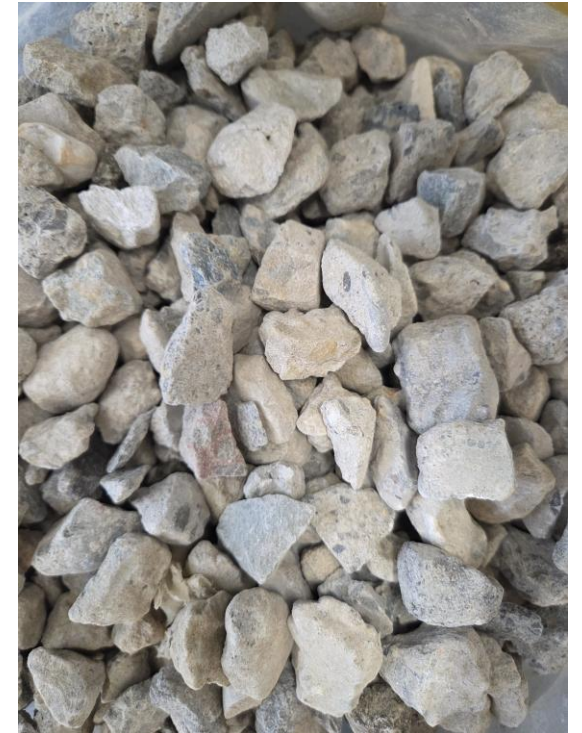
Gravier roulée 16/32



Béton concasse 4/20



Béton concasse 10/32



Absence de maçonnerie → matériau susceptible de se désagréger / se fragmenter

L'application des granulats recyclés

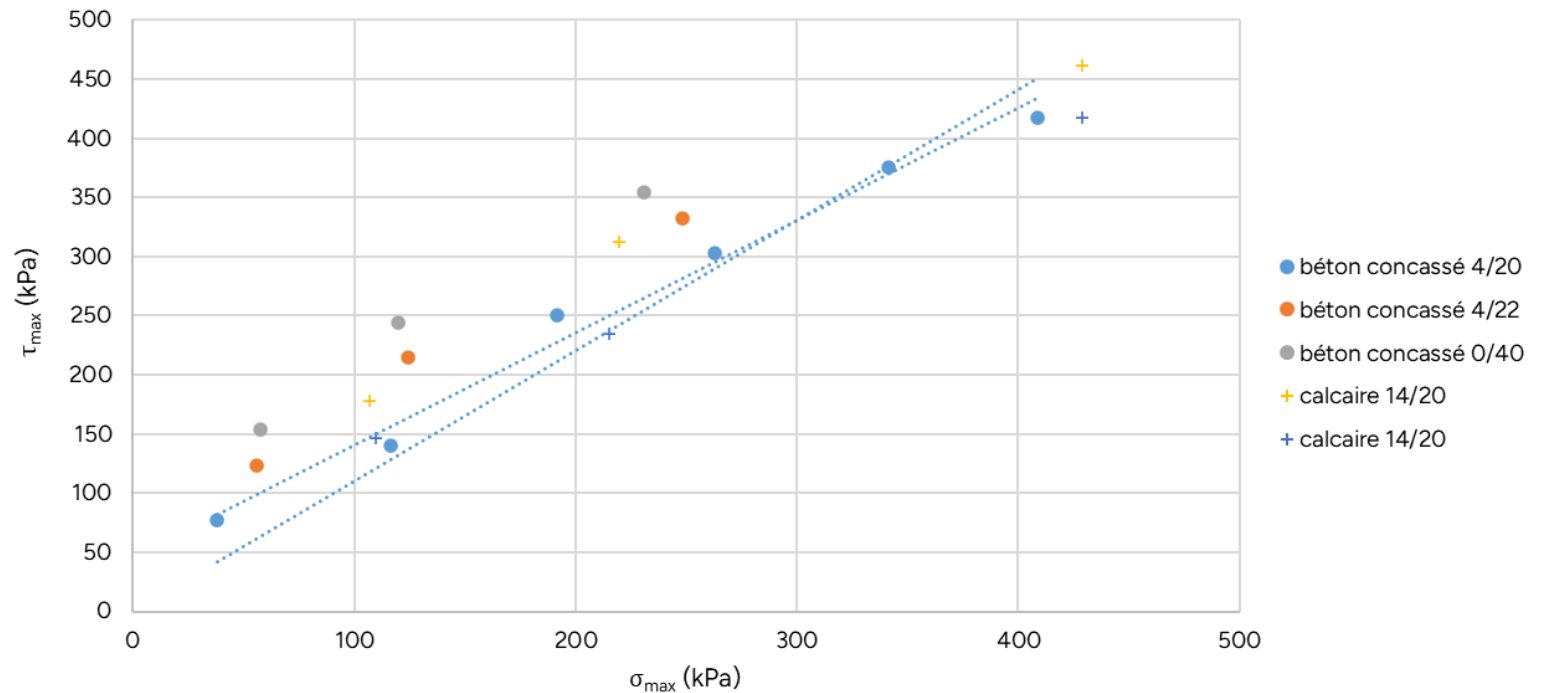
Essais de cisaillement directe (500mm x 500mm)

La cohésion apparente observée est liée à l'emboîtement des grains et à la dilatance ; elle ne constitue pas une propriété intrinsèque du matériau

Une loi de comportement sans cohésion est retenue ; l'augmentation de la résistance au cisaillement est interprétée en termes de dilatance (ψ)

Les matériaux recyclés présentent des performances comparables à celles des gravaes naturelles

		c'_{app} (kPa)	φ' (°)	$\varphi'_{(c=0)}$ (°)	ψ (°)
recyclé	4/20	46	43,5	47,8	8,7
recyclé	4/22	71	46,9	55,4	20,7
recyclé	0/40	96	48,7	59,3	28,8
grave nat.	14/20	101	40,6	49,5	17,4
grave nat.	14/20	53	40,3	45,4	9,3



Contrôles et réception

RFG 136: « air – avec enregistrement »

Contrôle du diamètre (mesure en tête des colonnes)

Contrôle de la continuité → enregistrement

Contrôle de la compacité → CPT à travers les colonnes

Essai de chargement



Contrôles et réception

RFG 136: « air – avec enregistrement »

Contrôle du diamètre (mesure en tête des colonnes)

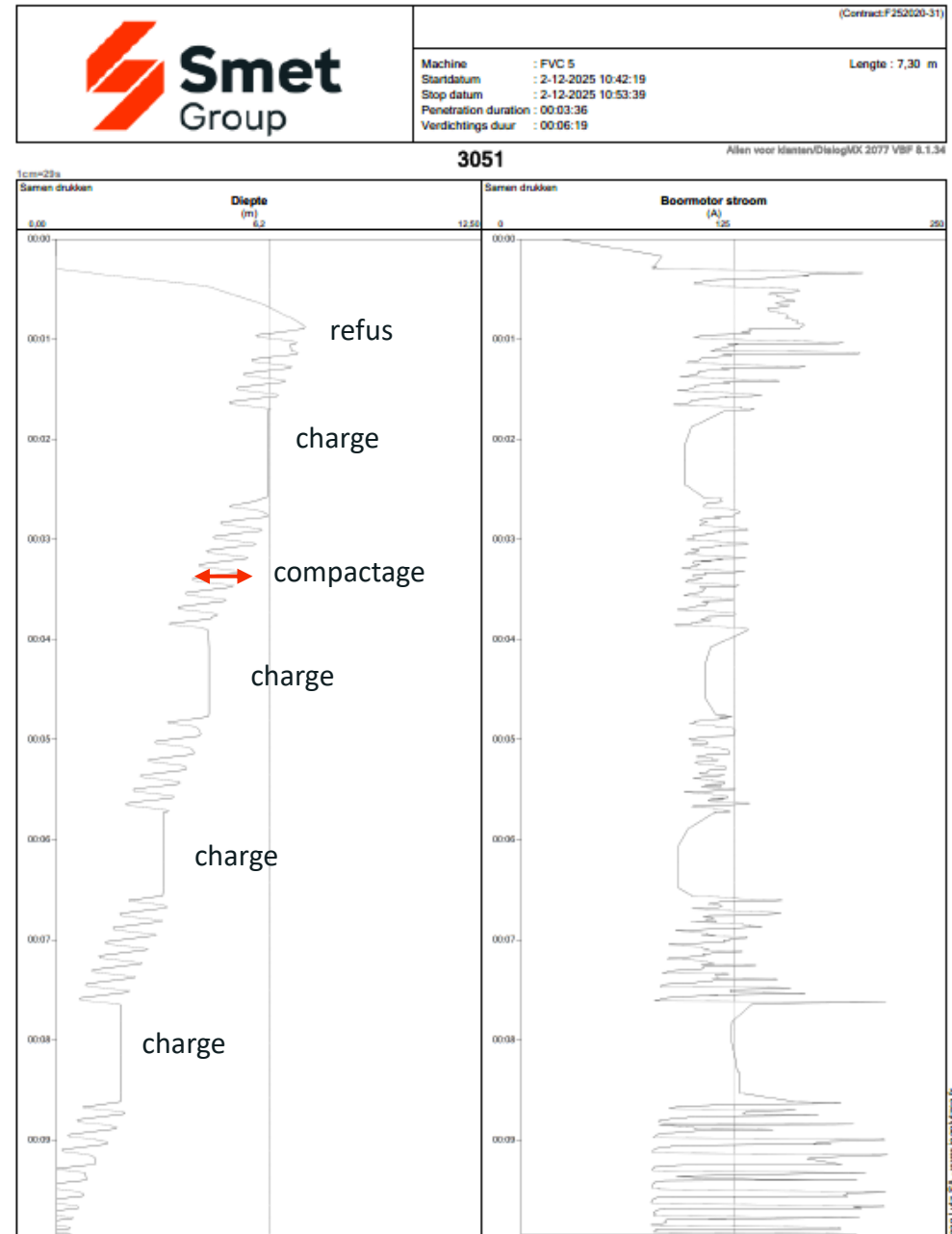
Contrôle de la continuité → enregistrement

Contrôle de la compacité → CPT à travers les colonnes

Essai de chargement

Information :

- Profondeur
- Résistance (consommation électrique)
- Continuité
- Compactage
- Consommation (indicatif, par charge)



Contrôles et réception

RFG 136: « air – avec enregistrement »

Contrôle du diamètre (mesure en tête des colonnes)

Contrôle de la continuité → enregistrement

Contrôle de la compacité → CPT à travers les colonnes

Essai de chargement

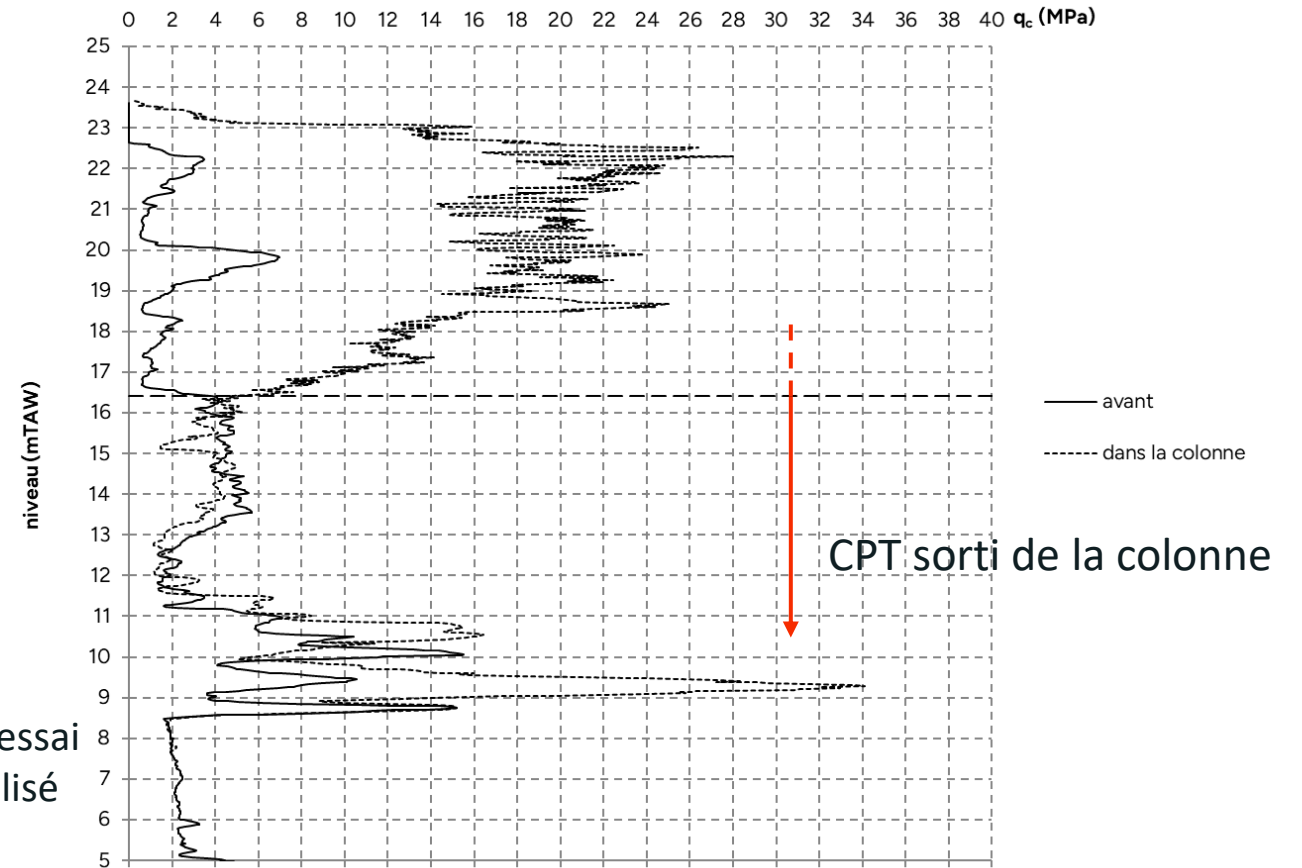
Déviations des tiges CPT

Endommager le cône du CPT

Blocage sur la partie cimentée

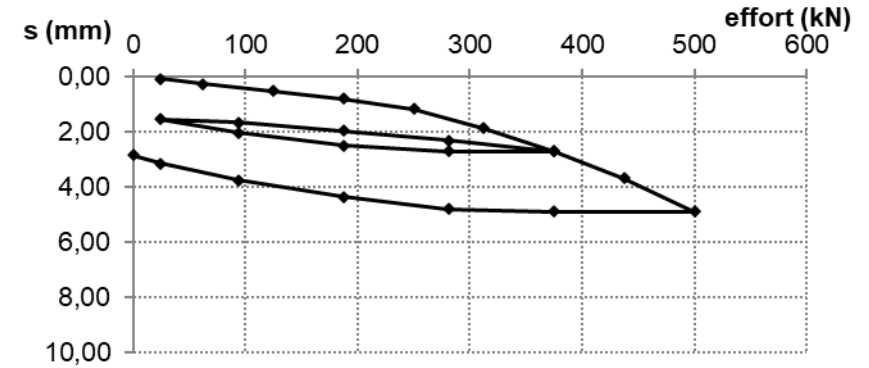
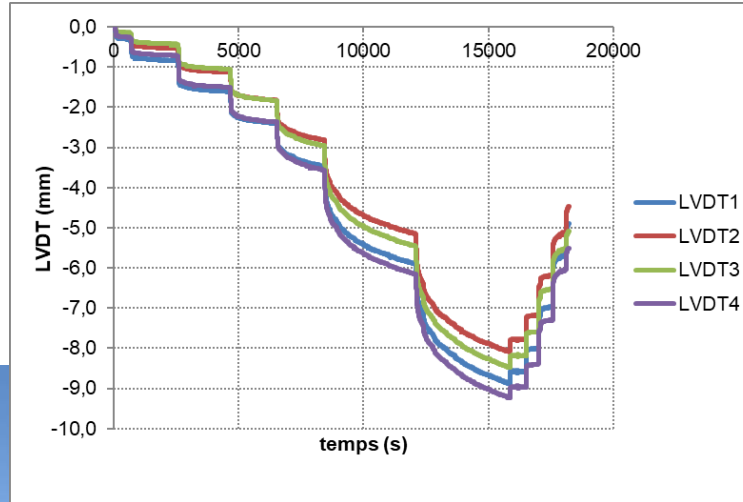
Info complémentaire à celle de l'enregistrement

→ En pratique, cet essai est rarement réalisé

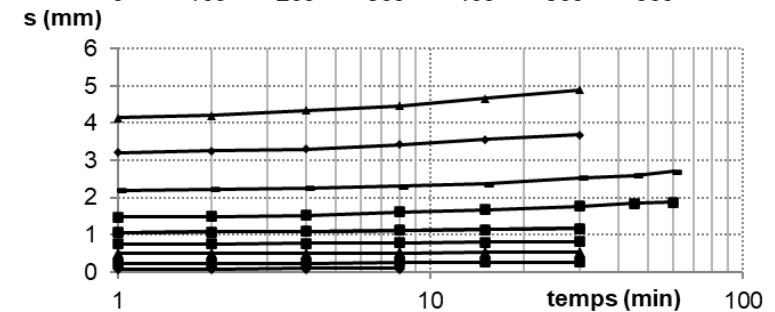
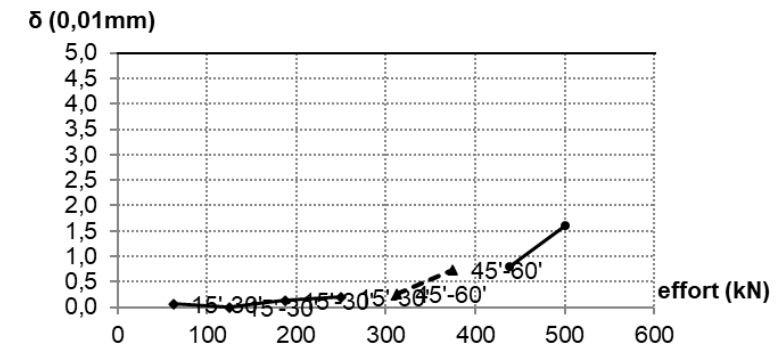


Contrôles et réception

Essai de chargement



Appréciation des tassements sous charges de service (ELS, 1,5 x ELS et 2 x ELS))



Stabilisation des tassements et absence de fluage significatif sous charge maintenue

Synthèse – Colonnes ballastées en granulats recyclés

Application en milieu argileux (y compris argiles molles)

- Le comportement des colonnes dépend du confinement latéral fourni par l'argile encaissante
- En argiles molles à très molles, les colonnes sont utilisées :
 - comme dispositif de renforcement et de maîtrise des tassements,
 - et/ou comme outil de consolidation accélérée
- Des solutions adaptées sont possibles :
 - colonnes partiellement cimentées,
 - ou colonnes fonctionnant comme drains verticaux de grand diamètre
- Applicabilité garantie sous réserve d'un dimensionnement et d'une justification géotechnique spécifiques

Application en granulats recyclés

Empreinte carbone

Réduction significative de l'empreinte carbone du projet

Matériaux locaux

Valorisation de matériaux recyclés et de ressources locales

Sécurité & durabilité

Aucun compromis sur la sécurité ni sur la durabilité des ouvrages

Performance géotechnique

Performances géotechniques équivalentes à celles des graves naturelles



Smet Group

Groundbreaking Solutions

Smet Group | Kastelsedijk 64 | B-2840 Dessel | Belgium
T. +32 14 38 96 35 | info@smetgroup.be | smetgroup.be
Smet (Entity) | BE 0000 000 000

De informatie in dit document heeft betrekking op informatie, producten en diensten van Smet Group. Deze informatie is vertrouwelijk en niets mag worden gereproduceerd of hergebruikt voor commerciële doeleinden zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Smet Group. Hoewel alle redelijke pogingen zijn ondernomen om de juistheid, volledigheid en betrouwbaarheid van de inhoud te verzekeren, wordt alle informatie verstrekt 'zoals deze is' en is gebaseerd op de door u verstrekte informatie. Er wordt geen garantie geboden voor de volledigheid, nauwkeurigheid, tijdigheid of resultaten die worden verkregen door het gebruik van

deze informatie en Smet Group is niet verantwoordelijk en kan niet aansprakelijk worden gesteld voor enige beslissing die wordt genomen of actie die wordt ondernomen op basis van dergelijke informatie.