



Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique:

## **ESSAIS DE PÉNÉTRATION**

**Partie 1 : planification, exécution et rapportage des résultats**

14 juillet 2016

# Introduction

La création de ce site *Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique* s'inscrit dans le cadre de la vision d'ensemble du Groupement Belge de Mécanique des Sols et de la Géotechnique (GBMS) en vue d'améliorer le niveau de qualité des études de reconnaissance géotechniques en Belgique. C'est à cet effet qu'a été créée la Task Force "Qualité Investigation de sol" à l'initiative de Flor De Cock, président du GBMS. Cette Task Force fut pilotée par Gauthier Van Alboom.

Ces procédures standards font partie d'un jeu de procédures qui comprendra:

- **Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique: Dispositions générales**
- **Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique: essais de pénétration**
- **Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique: forages et prise d'échantillons**
- **Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique: essais en laboratoire**

Les « procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : Essais de pénétration » comportent deux parties :

Partie 1 : Planning, exécution et rapportage

Partie 2 : Avis géotechnique pour le dimensionnement

Dans cette première partie, le planning, l'exécution et le rapportage des résultats seront traités.

Le type de mission pouvant être donnée à une firme de sondage et l'ampleur de la campagne d'investigation géotechnique sont discutés dans « Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : dispositions générales ».

Le présent document a été rédigé par le groupe de travail Essais de pénétration au sein de la Task Force 2, auquel ont participé activement:

- Ilse Claessens (Sondex sa)
- Stefaan D'hoore (Adinco sprl)
- Erwin Dupont (Fundex sa)
- Noël Huybrechts (Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC)
- Jean Nuyens (Orex sa)
- Gauthier Van Alboom - président - (département Géotechnique – MOW – Gouvernement Flamand)
- Hannelore Van Kriekingen (SGS Belgium sa)
- Luc Verhelst (SGS Belgium sa)
- Philippe Welter (Service Public de Wallonie – Direction de la Géotechnique)
- Géraldine Welvaert (GMA sa)

Le groupe de travail remercie également Flor De Cock (Geo.be BVBA) et Jan Maertens (Jan Maertens BVBA et KUL) pour leurs précieuses remarques et suggestions, ainsi que Vincent Fiquet et Pierre Van Miegroet (Orex sa) pour leur travail d'édition de la version française de ce document.

## Objet et domaine d'application

### **Essais de pénétration: essai de base dans le cadre général d'une étude de reconnaissance géotechnique**

Les essais de pénétration constituent l'un des essais de base des programmes de reconnaissance géotechnique en Belgique.

Un programme d'essai bien charpenté est essentiel pour la validité d'un projet géotechnique. Cette investigation du sol est fonction de la nature du projet et des conditions de sol, et comprend normalement:

- *Une exécution de qualité d'essais de pénétration pour un projet de fondations; si des essais de pénétration ne sont pas possibles en pratique (p.ex. dans un sol rocheux), un programme d'essais alternatifs est élaboré (p.ex. des essais pressiométriques)*
- *Une exécution de qualité d'essais de pénétration et de forages, complétée d'une recherche en laboratoire et/ou d'autres essais spécifiques pour l'étude d'ouvrages de soutènement, de la stabilité de talus, du risque de dommages résultant du rabattement de la nappe phréatique...*

Vous trouverez dans ce document un guide pour la planification et l'exécution d'essais de pénétration, ainsi qu'un commentaire de certains concepts et aspects spécifiques.

Y est annexé, en outre, un bon de commande type ou cahier des charges type pour la prescription d'une commande d'essais de pénétration.

Le document s'adresse tant au maître d'ouvrage d'essais de pénétration (architectes, bureaux d'études, entrepreneurs, ...) qu'aux entreprises réalisant des essais de pénétrations.

### **Exigences normatives**

Dans le contexte de la normalisation européenne, des exigences strictes sont imposées à l'établissement d'un programme d'essais géotechniques, en l'occurrence d'essais de pénétration.

En particulier, la NBN EN 1997-2 stipule que les organisations qui exécutent une reconnaissance géotechnique doivent travailler suivant un système de qualité *“Un système d'assurance qualité approprié doit être mis en place dans le laboratoire de l'organisme qui intervient sur le terrain et dans le bureau d'études, et le contrôle qualité doit être exercé avec compétence lors de toutes les phases de reconnaissance et de leur évaluation. »*

Par ailleurs, des normes spécifiques européennes et ISO ont été élaborées pour l'exécution de sondages électriques et mécaniques.

Un élément important de ces nouvelles normes est qu'elles introduisent le concept de catégories d'application. Les catégories sont définies en vue d'interpréter les essais en fonction de l'usage qui sera fait de leurs résultats. La catégorie d'application choisie détermine le type d'essai de pénétration, la précision exigée des mesures et l'espacement des essais.

## **Contexte global**

Ce document présente des procédures pour la planification, l'exécution et le rapportage des résultats de programmes d'essais à l'aide d'essais de pénétration, complétées de commentaires et d'informations.

Son objectif est d'améliorer le niveau de qualité global des études géotechniques (en l'occurrence, des essais de pénétration). Les entreprises réalisant des essais de pénétration qui s'engagent à travailler selon cette procédure normalisée doivent aussi se plier expressément aux exigences de qualité inhérentes.

Il est indispensable de travailler suivant un système qualité (système propre ou, encore mieux, selon un système qualité accrédité Belac ISO 17025)).

Les aspects liés au dimensionnement géotechnique seront traités dans un second document.

Le rapportage des résultats des essais et l'interprétation de ces résultats (couplé à un avis) doivent en tout état de cause constituer des parties distinctes du rapport.

## Structure du document

Ce document traite uniquement de "*Planification, exécution et rapportage des résultats*" des commandes de sondage.

Dans une seconde partie, les "*Interprétations, avis et calculs*" seront abordés.

Le document est conforme aux « Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : dispositions générales » disponibles sur le site du groupement belge de Mécanique des sols et de la Géotechnique (GBMS) : <http://www.bggg-gbms.be>

Ce document est structuré en 3 parties distinctes:

**A. Projets de catégorie géotechnique GC2A: Maisons unifamiliales et bâtiments de taille et/ou contraintes limitées (habitation de maximum 3 étages – y inclus les caves – profondeur d’excavation maximale de 2.80m et une superficie construite inférieure à 250m<sup>2</sup>).**

1. Guide pour la planification et l'exécution d'essais de pénétration
2. Bon de commande d'essais de pénétration

**B. Projets de catégorie géotechnique GC2B: Projets de taille et/ou contraintes moyennes et grandes**

1. Guide pour la planification et l'exécution d'essais de pénétration
2. Cahier des charges type pour essais de pénétration

**C. Commentaire**

Les concepts qui nécessitent davantage d'explications sont commentés ici et – où nécessaire – expliqués plus en détail.

**A Projets de Catégorie Géotechnique GC2A: Maisons unifamiliales et bâtiments de taille et/ou contraintes limitées**

**(Habitation de maximum 3 étages – y inclus les caves – profondeur d’excavation maximale de 2.80m et une superficie construite inférieure à 250m<sup>2</sup>).**

- 1 Guide pour la planification et l’exécution d’essais de pénétration**
- 2 Bon de commande d’essais de pénétration**

# 1. Guide pour la planification et l'exécution d'essais de pénétration

## 1.1. Informations à fournir par le maître d'ouvrage

### 1.1.1. Informations générales concernant la commande d'essais de pénétration

Le maître d'ouvrage communique les informations suivantes:

- En option: Description de la nature de l'ouvrage à ériger
- Accessibilité et praticabilité des points de sondage (camion / véhicule sur chenilles / appareils embarqués)
- Autorisations éventuelles nécessaires pour accéder sur le terrain
- Historique du site ayant un impact sur l'exécution des essais, notamment:
  - Présence d'impétrants (conduites de distribution souterraines présentes sur le site s'il s'agit d'un terrain privé)
  - Présence de remblais, de tout-venant
  - Présence d'anciennes fondations, de restes d'ouvrages souterrains ou autres obstacles dans le sous-sol
  - Présence et nature de pollutions
- Coordonnées de la personne de contact joignable pendant l'exécution des essais

### 1.1.2. Informations spécifiques concernant la commande d'essais de pénétration

Le maître d'ouvrage remet les informations/plans spécifiques à la commande d'essais de pénétration:

- **Nombre d'essais de pénétration**  
*Remarque: Le nombre d'essais de pénétration est fixé conformément aux dispositions données dans les « Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : dispositions générales ».*
- **Emplacement des essais de pénétration**  
Le maître d'ouvrage indique les lieux d'exécution des essais sur un plan de situation à l'échelle (si les coordonnées Lambert des points de sondage sont connues, elles sont également communiquées). Le plan reproduit la situation actuelle et, de préférence aussi, la situation future. Une échelle linéaire et l'indication des dimensions figureront également sur ce plan.  
  
Le plan indique un repère par rapport auquel les niveaux des points de sondage sont mesurés. Ce repère sera de préférence référencé par rapport au niveau de référence du bâtiment (si possible par rapport à DNG, un niveau relatif peut suffire).
- **Profondeur à atteindre et capacité de pénétration prévue des essais de pénétration**

En l'absence de données spécifiques, les essais de pénétration sont exécutés jusqu'à une capacité totale minimale de 100kN et/ou jusqu'à une profondeur d'au moins 10m.

Au cas où l'on aurait des doutes sur des couches de faibles résistantes présentes à une profondeur plus importante que la profondeur atteinte par l'essai de 100kN, des essais de 200kN s'avèreront peut-être nécessaires afin d'atteindre ces couches.

On prévoira également une plus grande capacité de pénétration si des indices permettent de penser que des couches très compactes se trouvent dans l'intervalle de profondeur à sonder.

- **Types d'essais de pénétration et catégorie d'application**

Les essais de pénétration peuvent s'effectuer à l'aide d'appareils électriques (CPTE) ou mécaniques (CPTM). En l'absence d'indices permettant de penser que des couches très compactes se trouvent dans l'intervalle de profondeur à sonder, une capacité de pénétration de 100kN peut suffire.

*Remarque: Bien que les sondages électriques soient préférables (catégorie 4 ou mieux), les sondages mécaniques discontinus ou continus (catégories 5 à 7) sont également acceptables. Les sondages électriques présentent l'avantage d'une plus grande fréquence de mesure, d'une plus grande précision des mesures et permettent une identification plus précise du sol.*

Projets	Capacité de sondage	Type d'essai de pénétration	Catégorie d'application	
			CPTE	CPTM
Taille et/ou contrainte limitées	100kN	CPTE/CPTM	Catégorie 4 ou mieux	Catégories 5 à 7

- **Utilisation d'un réducteur de frottement (imposé ou non partiellement ou pour la totalité des essais de pénétration)**

Lors de sondages électriques, un réducteur de frottement est prévu d'office.

L'emploi d'un réducteur de frottement ne sera généralement pas imposé pour les sondages mécaniques pour ce type d'ouvrages. Si la profondeur atteinte est inférieure à 10m et que l'essai n'est pas arrêté contre des horizons durs, mais que, sur base des informations disponibles, il est apparu qu'il faudrait peut-être prévoir une fondation sur pieux, l'essai minimum sera exécuté avec un réducteur de frottement (sauf dispositions contraires du maître d'ouvrage).

Lorsque l'essai est arrêté à profondeur trop faible et que cet arrêt est dû au frottement total, l'utilisation d'un engin de 200kN sera fortement conseillée.

- **Présence éventuelle de conduites de distribution sur terrain privé nécessitant une préfouille**
- **Nécessité éventuelle de percer le revêtement routier, de prévoir une signalisation spécifique, ...**

## 1.2. Exécution d'essais de pénétration et tâches préparatoires à effectuer par l'entreprise réalisant les essais de pénétration

### 1.2.1. Tâches préparatoires

- **Impétrants (câbles et conduites de distribution souterrains)**

L'entreprise réalisant les essais de pénétration effectue une demande auprès des différents concessionnaires. Cette demande est obligatoire dans le cadre d'essais réalisés sur des terrains publics, et dans la mesure où elle est pertinente pour les essais sur terrain privé. A cet égard, il y a lieu de tenir compte de la spécificité de chaque Région (Région flamande, bruxelloise ou wallonne).

- Région flamande

L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois).

- Région de Bruxelles-Capitale

L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois). Toutefois, comme le décret KLIP s'applique uniquement à la Région flamande, les concessionnaires ne sont pas tenus d'enregistrer leurs câbles et conduites souterrains via KLIP. Par contre, la demande KLIP est transférée automatiquement au CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be))

L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte donc les communes concernées afin d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires concernés en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.

- Région wallonne

L'entreprise réalisant les essais de pénétration demande les informations concernant les impétrants via <http://impetrants.met.wallonie.be> pour les impétrants gérés par le Service Public de Wallonie et via CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be) pour les autres impétrants). L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte les communes concernées afin d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.

- **En option**

L'entreprise de sondages consulte DOV <http://dov.vlaanderen.be> (Flandre) ou <http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/> (Wallonie) et d'autres informations géologiques ou géotechniques

- **Planification et début des essais.**

La planification et le début des essais de pénétration sont communiqués au préalable au maître d'ouvrage.

## 1.2.2. Exécution des essais de pénétration

- **Emplacements prévus et écarts autorisés**

Les essais de pénétration sont exécutés aux endroits prévus par le maître d'ouvrage; un écart d'un maximum de 5m est toléré. Si, pour des raisons d'inaccessibilité ou d'impraticabilité; il n'est pas possible de respecter cette exigence, le maître d'ouvrage en sera informé.

- **Normes**

Les essais de pénétration sont exécutés conformément aux (projets de) normes européennes en matière d'exécution, d'appareillage, de calibration et de rapportage des résultats, en particulier :

- NBN EN ISO 22476-1:2006 “Electrical cone and piezocone penetration tests” pour les sondages électriques
- NBN EN ISO 22476-12:2009 “Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 12 : Essais de pénétration statique (CPTM)” pour les essais de pénétration au cône à pointe mécanique

- **Tubes de guidage (casing)**

Le recours à des tubes de guidage peut être indiqué dans des cas spécifiques. Par exemple, si l'on suspecte qu'une fondation sur pieux sera nécessaire et qu'il faut sonder profondément dans des couches fortement résistantes sous des couches supérieures peu résistantes.

Les tubes de guidage (casing) réduisent le risque de flambement des tubes de sondage et permettent d'atteindre de plus grandes profondeurs dans la sous-couche portante avec moins de risques de rupture.

- **Reprise d'essais de pénétration**

S'il y a lieu d'arrêter un essai de pénétration à petite profondeur (<5m), un nouvel essai sera recommencé à faible distance de l'essai arrêté trop tôt. Cette opération ne sera effectuée qu'une seule fois, sauf ordre contraire du maître d'ouvrage.

Recommencer un essai n'est pas nécessaire si l'on n'a pas connaissance d'obstacles dans le sous-sol (restes d'anciennes fondations, toutes sortes d'obstacles résistants dans un remblai,...) et/ou en présence de couches dures dans des horizons géologiques (bancs de grès, ...) impénétrables avec un appareil de sondage de 100 kN.

- **Certificats de calibration**

Les certificats de calibration des appareils de mesure et des cônes doivent être disponibles à bord du véhicule de sondage.

- **Mesure du niveau d'eau**

A la fin de l'essai, on mesure le niveau d'eau dans le trou de sondage ou le niveau auquel le trou de sondage s'est refermé.

- **Plan/croquis**

Les emplacements effectifs de l'exécution des essais de pénétration sont indiqués avec la numérotation exacte sur le plan remis par le maître d'ouvrage. S'il ne dispose pas de ce genre de plan, le chef sondeur réalisera un croquis des emplacements des essais.

- **Relevé des coordonnées des essais**

La localisation et les niveaux de départ des essais de pénétration sont levés. La précision minimum des mesures est de 0,5 m pour les coordonnées x-y, et de 5 cm pour la coordonnée z.

### 1.2.3. Rapportage des résultats des essais de pénétration

- **Le rapportage des résultats**

Le rapport doit être réalisé par un géotechnicien conformément aux considérations des “Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : considérations générales”. Les qualifications pour être géotechnicien sont disponibles sur le site du Groupement Belge de Mécanique des Sols et de la Géotechnique (GBMS) : <http://www.bggg-gbms.be>

- **Envoi des résultats des essais de pénétration**

Les diagrammes de sondage (DS) sont remis dans les 5 jours ouvrables au maître d'ouvrage sauf convention contraire.

- **Rédaction d'un rapport d'essais**

Un rapport d'essais (RE) est établi une fois la mission totalement terminée. Outre ce rapport d'essais, l'entreprise de sondages établit également des rapports de terrain (RT) à usage interne; elle conserve ces rapports (avec les données brutes des mesures) pendant au moins 10 ans et doit pouvoir les présenter sur simple demande du maître d'ouvrage. L'envoi à des tiers des résultats et/ou des rapports des essais de pénétration ne peut se faire que moyennant l'autorisation écrite du maître d'ouvrage.

- **Valeurs dérivées / interprétations / avis**

Le rapport d'essais contient uniquement les résultats des essais et donc pas de valeurs dérivées, interprétation ou avis. Les valeurs dérivées et/ou des interprétations et avis seront éventuellement être repris dans une partie distincte du rapport.

- **Diagrammes de sondage**

Etant donné que les diagrammes de sondage sont eux aussi considérés comme des documents distincts, des exigences minimales sont imposées quant aux informations qui doivent y figurer.

Il y a lieu d'être attentif au fait que les fichiers de données brutes provenant de l'unité de sondage doivent également être disponibles sous forme numérique auprès de l'entreprise de sondages et doivent pouvoir être remis sur demande du maître d'ouvrage. Les fichiers doivent être de format GEF.

- **Contenu des rapports**

Les rapports contiennent les données renfermées dans le tableau suivant.

Tableau - Rapportage des résultats des essais de pénétration

<b>Informations générales</b>	<b>RE</b>	<b>DS</b>	<b>RT</b>
Numéro de référence commande	X	X	X
Nom entreprise de sondages + coordonnées complètes	X	X	X
Nom et signature responsable entreprise de sondages pour le projet	X		
Nom et signature exécutant de l'essai			X
Nom maître d'ouvrage + coordonnées complètes	X		
<b>Informations mission</b>			
Informations sur l'ouvrage à ériger (en option)	X		
Lieu (commune, site) où les essais ont été réalisés	X	X	X
Plan avec localisation des essais avec de préférence coordonnées Lambert et cotes de niveau en DNG	X		
Système de coordonnées utilisé (Lambert, DNG ou références locales)	X		
<b>Informations techniques générales sur les essais</b>			
Référence et conformité à la norme EN/ISO exécution essais de pénétration	X	X	
Catégorie d'application de l'essai de pénétration	X	X	X
Ecarts par rapport à la norme lors de l'exécution des essais de pénétration	X		
Description des appareils utilisés	X		
Type d'essai exécuté (capacité, appareils, cône, continu ou discontinu)	X	X	X
Profondeur éventuelle des préforages ou des forages préalables (avec indication du type de sol si possible)	X	X	X
Observations pendant l'exécution des essais de pénétration (craquages, rupture tubes de sondage, usure exceptionnelle, ...)	X	X	X
<b>Informations techniques spécifiques sur les essais</b>			
Date exécution essai		X	X
Coordonnées X, Y essai (en option)		X	
Cote de niveau essai (niveau relatif ou DNG)		X	
Niveau d'eau mesuré dans le trou de sondage ou trou de sondage refermé	(X)*	(X)*	X
Utilisation de tubes de guidage (casing)		X	X
Utilisation d'un réducteur de frottement		X	X
Coulissage tubes de sondage		X	X
Type de cône		X	X
Valeurs chiffrées suivant intervalle de mesure (sous forme de tableau ou numérique)	X		X
Identification du cône et des appareils de mesure utilisés		X	X
Données de calibrage des cônes et capteurs utilisés			X
Données brutes des essais de pénétration			X
Enregistrement des temps pendant essai			X
Points zéro cône avant et après essai			X
Corrections éventuelles pour dérive du point zéro		X	X
Corrections éventuelles pour poids des tiges internes (CPTM)	X		

\* Les données relatives au niveau d'eau sont mentionnées dans le rapport d'essai et/ou sur le diagramme de sondage; le caractère purement indicatif de cette mesure doit dans tous les cas être signalé dans le rapport d'essais.

- **Etablissement des diagrammes de sondage**

Les diagrammes de sondage indiquent les valeurs mesurées en fonction de la profondeur

- Pour les sondages électriques, ce sont:
  - La résistance au cône  $q_c$  en MPa
  - Le frottement latéral local  $f_s$  en MPa
  - Le coefficient de frottement  $R_f$  en %
  - L'inclinaison  $i$  (en option) en °
- Pour les sondages mécaniques, ce sont:
  - La résistance au cône  $q_c$  en MPa
  - La résistance totale de frottement latéral  $Q_{st}$  en kN
  - Le frottement latéral local éventuel  $f_s$  (en cas d'utilisation de cône M2) en MPa
  - Le coefficient de frottement éventuel  $R_f$  (en cas d'utilisation de cône M2) en %

On indique également par une lettre sur les diagrammes de sondage à quelle profondeur

- Des tubes de guidage (casing) ont été placés V
- Les tubes de sondage ont été coulés E
- Le réducteur de frottement a été utilisé K
- L'essai de pénétration a été arrêté (et repris plus tard) S
- Des couches dures ont été pénétrées par forage ou par une autre technique B

Pour permettre une évaluation visuelle correcte des diagrammes de sondage, il est essentiel qu'ils soient établis suivant un rapport d'échelle uniforme; tel que stipulé dans les normes.

Les rapports d'échelle suivants, **qui ne peuvent pas être modifiés**, s'appliquent aux diagrammes de sondage (à cet effet, la longueur unitaire est supposée égale à un intervalle de 1 m sur l'échelle de profondeur; cette longueur unitaire est de préférence supposée égale à 1 cm) :

- Echelle de profondeur 1 m/longueur unitaire
- Résistance au cône  $q_c$  2 MPa/longueur unitaire
- Frottement latéral local  $f_s$  0,05 MPa/longueur unitaire
- Coefficient de frottement  $R_f$  2 %/longueur unitaire
- Frottement latéral total  $Q_{st}$  5 kN/longueur unitaire\*
- Inclinaison éventuelle  $i$  (peut aussi se présenter sous forme de tableau) pas de rapport d'échelle imposé

\* On peut éventuellement utiliser un diagramme supplémentaire à une échelle plus grande (p.ex. 10 kN/longueur unitaire).

## 2. Bon de commande d'essais de pénétration

Les considérations suivantes sont en vigueur pour la mission de sondage :

- *Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique: considérations générales*
- *Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : essais de pénétration – Partie 1 : Planning, exécution et rapportage des résultats (type de mission G1)*
- *Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : essais de pénétration – Partie 2: Avis géotechnique pour le dimensionnement*

Ces documents sont disponibles gratuitement sur le site internet du GBMS.

Cet ordre de mission contient :

Cocher	Type de mission sans avis	Visite de terrain supplémentaire
	Essais de pénétration - type G1	
	Essais de pénétration - type G2	
	Essais de pénétration - type G3	
	Essais de pénétration - type G4	

Cocher	Type de mission avec avis	Type d'avis à donner	Visite de terrain supplémentaire
	Essais de pénétration - type G2	D1.1	
	Essais de pénétration - type G3	D1.1	
	Essais de pénétration - type G3	D1.2	
	Essais de pénétration - type G4	D4/1	

En ce qui concerne les ordres de mission pour des essais de pénétration comprenant un avis, le donneur d'ordre ajoute dans son bon de commande les informations et données pertinentes concernant la future construction ou la future utilisation du terrain.

Les dispositions du "Guide de planification et d'exécution des essais de pénétration" que l'on peut retrouver sur le site web du Groupement Belge de Mécaniques des Sols et de la Géotechnique: <http://www.bggg-gbms.be> BMS s'appliquent à la commande d'essais de pénétration.

Cela implique, en particulier, que les essais de pénétration soient exécutés conformément aux normes NBN EN ISO 22476-12 pour les sondages mécaniques et NBN EN ISO 22476-1 pour les sondages électriques.

L'étude comprend:

1	Demande des plans auprès des concessionnaires conformément au décret KLIP (Région flamande) et aux prescriptions du §1.2.1 (Région Bruxelles-Capitale et Région wallonne)	QF	pc	
2	Tracé des positions de sondages	QP	pc	
3	Préfouille manuelle préalable jusqu'à 1,5 m	QP	pc	
4	Percement revêtement/surface indurée			
4.1	jusqu'à 20 cm	QP	pc	
4.2	par cm supplémentaire	QP	pc	
5	En option: mise à nu des impétrants	QP	pc	
6	Amenée et repli du matériel CPT	QF	pc	
7	Coût d'installation au droit de chaque essai de	QP	pc	

	pénétration			
8	CPT électrique 100 kN < 10 m	QP	pc	
9	CPT électrique 100 kN > 10 m	QP	m	
10	CPT électrique 200 kN < 20 m	QP	pc	
11	CPT électrique 200 kN > 20 m	QP	m	

Les essais de pénétration sont réalisés suivant la catégorie d'application ...

#### Prestations supplémentaires en option

12	Perforation inclusions dures avec appareils de sondage	QP	10cm	
13	En option: percement mécanique couches souterraines dures ou perforation inclusions dures par forage			
13.1	Amenée et repli de la machine de forage	QP	pc	
13.2	Percement couches dures	QP	10 cm	
13.3	Stand-by machine de forage	QP	heure	
14	Temps d'attente et de retard non imputables à l'entreprise de sondage	QP	heure	
15	Rapport	QF	pc	

#### Sondages mécaniques en option

16	CPT mécanique discontinu 100 kN < 10 m	QP	pc	
17	CPT mécanique continu 100 kN < 10 m	QP	pc	
18	CPT mécanique discontinu 100 kN > 10 m	QP	m	
19	CPT mécanique continu 100 kN > 10 m	QP	m	
20	CPT mécanique discontinu 200 kN < 20 m	QP	pc	
21	CPT mécanique continu 200 kN < 20 m	QP	pc	
22	CPT mécanique discontinu 200 kN > 20 m	QP	m	
23	CPT mécanique continu 200 kN > 20 m	QP	m	
24	Reprise d'un essai avec un réducteur de frottement	QP	pc	

Les essais de pénétration sont réalisés suivant la catégorie d'application ...

## INFORMATIONS RELATIVES AU TERRAIN

- Etat actuel du terrain:
  - Terrain plat
  - Terrain en pente
  - Présence de talus/fossé
  - Boueux
  - Broussailles
  - Boisé
  - Revêtement béton/asphalte/Klinkers/gravier
  - Remblai terre/ gravats/caves remblayées/fondations,...
  - Bâti
- Accès au terrain:
  - Camion
  - Véhicule sur chenilles
  - Appareils indépendants
  - Talus
  - Fossé
  - Pente
  - Clôture fil/ mur
  - Rues étroites
  - Passage étroit ( l: .....x h: .....)

## **B Projets de Catégorie Géotechnique GC2B: Projets de taille et/ou contrainte moyennes et grandes**

- Bâtiments qui ne tombent pas sous la catégorie GC2A
- Structures linéaires: remblais
- Structures linéaires: excavations sous talus
- Structures linéaires: collecteurs et conduites
- Structures linéaires: passages souterrains
- Structures linéaires: forages dirigés
- Structures linéaires: tunnels
- Structures linéaires: murs de quai
- Soutènements
- Ponts
- Rabattements

### **1 Guide de planification et d'exécution des essais de pénétration**

### **2 Cahier des charges type pour essais de pénétration**

# 1. Guide de planification et d'exécution des essais de pénétration

## 1.1. Informations à fournir par le maître d'ouvrage

### 1.1.1. Informations générales concernant la commande d'essais de pénétration

Le maître d'ouvrage communique les informations suivantes:

- Le type de mission pour la reconnaissance géotechnique

Type de mission sans avis
Essais de pénétration – type G1
Essais de pénétration – type G2
Essais de pénétration – type G3
Essais de pénétration – type G4

Type de mission avec avis	Type adviesopdracht
Essais de pénétration – type G2	D1.1
Essais de pénétration – type G3	D1.1
Essais de pénétration – type G3	D1.2
Essais de pénétration – type G4	D4/1

En ce qui concerne les missions d'essais de pénétration avec avis, le maître d'ouvrage relève les données importantes quant à l'aménagement futur du terrain par le biais de ce bon de commande.

- Pour les types de mission sans avis, la description de la nature de l'ouvrage à ériger est optionnelle
- Accessibilité et praticabilité des points de sondage (camion / véhicule sur chenilles / appareil portable)
- Autorisations éventuelles éventuellement nécessaires pour accéder au terrain
- Historique du site ayant un impact sur l'exécution des essais, notamment:
  - Présence d'impétrants (conduites distribution souterraines) présentes sur le site d'essai s'il s'agit d'un terrain privé
  - Présence de remblais, de tout-venant
  - Présence d'anciennes fondations, de restes d'ouvrages souterrains ou autres obstacles dans le sous-sol
  - Présence et nature de pollution.
- Coordonnées de la personne de contact joignable pendant l'exécution des essais

## 1.1.2. Informations spécifiques concernant la commande d'essais de pénétration

Le maître d'ouvrage remet les informations/plans spécifiques pour la commande d'essais de pénétration.

- **Nombre d'essais de pénétration**

Lors de l'exécution du programme d'essais, il y a lieu de consulter toutes les informations déjà disponibles concernant le sous-sol (essais de pénétration et forages dans les environs, cartes géologiques et géotechniques, ...) afin de déterminer de manière précise le nombre et l'emplacement des essais (p.ex. emplacement d'une ancienne tranchée).

Des directives indicatives pour chaque type d'essais et pour le nombre d'essais à réaliser sont données dans le document : « Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : dispositions générales ».

- **Implantation des essais de pénétration**

Le maître de l'ouvrage indique les lieux d'exécution des essais sur un plan de situation (de préférence numérique) à l'échelle, avec indication des coordonnées Lambert. Le plan reproduit la situation actuelle et de préférence aussi la situation future. Une échelle linéaire et une indication des dimensions figureront également sur ce plan.

Eventuellement les essais de pénétration déjà effectués antérieurement pour le projet seront repris sur ce plan ; la logique de numérotation des nouveaux essais demandés correspond à celle des essais déjà effectués.

Sur ce plan figure un point de référence par rapport au niveau DNG (pour les bâtiments, le niveau de référence du bâtiment sera référencé par rapport au niveau DNG, si connu).

- **Profondeur à atteindre par les essais de pénétration**

En ce qui concerne la profondeur des essais, on peut affirmer qu'elle est déterminée par les conditions de sol, la nature de l'ouvrage et la profondeur pertinente pour la détermination du comportement de l'ouvrage en matière de déformation. Les résultats des essais exécutés dans les environs constituent des informations utiles à cet égard. Ces résultats peuvent donner une idée de la composition du sous-sol à laquelle on peut s'attendre et permet de faire une première évaluation de la profondeur.

D'une manière générale, les valeurs minimales pour la plage de profondeur des essais de pénétration sont mentionnées dans la partie "Dispositions générales" des "Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique ».

Si l'on ne dispose d'aucune donnée spécifique, les essais de pénétration sont exécutés au maximum jusqu'à la profondeur à atteindre pour une capacité de 200 kN et au minimum jusqu'à une profondeur correspondant à 1,5 x la largeur de l'ouvrage.

- **Types d'essais de pénétration et catégorie d'application**

Projets	Capacité de sondage	Type d'essai de pénétration	Catégorie d'application
Taille et/ou contrainte moyennes	200kN	CPTE*	Catégories 4 à 1**
Taille et/ou contrainte importantes	200kN	CPTE/CPTU*	Catégories 3 à 1**

\* *En cas d'indication de la présence de pierres ou d'obstacles dans le sol, susceptibles d'endommager le cône électrique, l'essai peut être remplacé par un essai de pénétration continu ou discontinu au cône mécanique (catégories 5 à 7); les limitations liées à l'exploitation des résultats de sondage obtenus pour les catégories plus faibles doivent être prises en considération (également concernant les essais de pénétration continus par rapport aux essais de pénétration discontinus).*

\*\* *La catégorie d'application 1 exige une très grande précision des mesures qui n'apporte une plus-value que pour les applications très spéciales; la catégorie 1 n'est par conséquent pas d'application pour la pratique courante belge.*

- **Utilisation d'un réducteur de frottement (imposé ou non pour quelques ou tous les essais de pénétration)**

Si aucune instruction spécifique n'a été donnée à ce sujet, 1 essai de pénétration sur 3 est effectué avec un réducteur de frottement, afin que la profondeur de sondage soit au moins égale à 2x la largeur de l'ouvrage.

- **Nécessité éventuelle de forage mécanique préalable pour atteindre une profondeur plus importante ou pour percer des horizons durs**
- **Résultats de données géotechniques disponibles dans les environs ou référence à une base de données (p.ex. DOV)**
- **Présence éventuelle d'impétrants sur un terrain privé**
- **Nécessité éventuelle de creuser des puits préalables munis d'une signalisation spécifique,**  
...

## 1.2. Exécution d'essais de pénétration et tâches préparatoires à effectuer par l'entreprise réalisant les essais de pénétration

### 1.2.1. Tâches préparatoires

- **Impétrants (câbles et conduites de distribution souterrains)**

L'entreprise réalisant les essais de pénétration effectue une demande auprès des différents concessionnaires. Cette demande est obligatoire dans le cadre d'essais réalisés sur des terrains publics, et dans la mesure où elle est pertinente pour les essais sur terrain privé. A cet égard, il y a lieu de tenir compte de la spécificité de chaque Région (Région flamande, bruxelloise ou wallonne).

- Région flamande

L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois).

- Région de Bruxelles-Capitale

L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois). Toutefois, comme le décret KLIP s'applique uniquement à la Région flamande, les concessionnaires ne sont pas tenus d'enregistrer leurs câbles et conduites souterrains via KLIP. Par contre, la demande KLIP est transférée automatiquement au CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be)).

L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte donc les communes concernées afin d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires concernés en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.

- Région wallonne

L'entreprise réalisant les essais de pénétration demande les informations concernant les impétrants via <http://impetrants.met.wallonie.be> pour les impétrants gérés par le Service Public de Wallonie et via CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be)) pour les autres impétrants). L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte les communes concernées afin d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.

- L'entreprise de sondages consulte DOV <http://dov.vlaanderen.be> (Flandre) ou <http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/> (Wallonie) et d'autres informations géologiques ou géotechniques
- La planification et le début des essais de pénétration sont communiqués au préalable au maître d'ouvrage.

## 1.2.2. Exécution des essais de pénétration

- **Localisations prévues et écarts autorisés**  
Les essais de pénétration sont exécutés aux endroits prévus par le maître d'ouvrage; un écart d'un maximum de 5m est toléré. Si, pour des raisons d'inaccessibilité ou d'impraticabilité; il n'est pas possible de respecter cette exigence, le maître d'ouvrage en sera informé.
- **Signalisation des puits creusés au préalable**  
Au besoin, des puits préalables sont creusés avant l'exécution des essais de pénétration et/ou une signalisation adéquate est mise en place.
- **Normes européennes**  
Les essais de pénétration sont exécutés conformément aux (projets de) normes européennes en matière d'exécution, d'appareils, de calibrage et de rapportage des résultats, en particulier :
  - NBN EN ISO 22476-1:2006 "Electrical cone and piezocone penetration tests" pour les sondages électriques
  - NBN EN ISO 22476-12:2009 "Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 12 : Essais de pénétration statique (CPTM)" au cône à pointe mécanique
- **Tubes de guidage (casing)**  
Le recours à des tubes de guidage peut être indiqué dans des cas spécifiques. Par exemple, si l'on suspecte qu'une fondation sur pieux sera nécessaire et qu'il faut sonder profondément dans des couches fortement résistantes sous des couches supérieures peu résistantes.  
Les tubes de guidage (casing) réduisent le risque de flambement des tubes de sondage et permettent d'atteindre de plus grandes profondeurs dans la sous-couche portante avec moins de risques de rupture.
- **Reprise d'essais de pénétration**  
S'il y a lieu d'arrêter un essai de pénétration à petite profondeur (<5m), un nouvel essai sera recommencé à faible distance de l'essai arrêté trop tôt. Cette opération ne sera effectuée qu'une seule fois, sauf ordre contraire du maître d'ouvrage.  
Recommencer un essai n'est pas nécessaire si l'on n'a pas connaissance d'obstacles dans le sous-sol (restes d'anciennes fondations, toutes sortes d'obstacles résistants dans un remblai,...) et/ou en présence de couches dures dans des horizons géologiques (bancs de grés, ...) impénétrables avec un appareil de sondage de 200 kN (y-compris coulissage des tubes de sondage).
- **Certificats de calibration**  
Les certificats de calibration des appareils de mesure et des cônes doivent être à disposition à bord du véhicule de sondage.
- **Mesure du niveau d'eau**  
A la fin de l'essai, on mesure le niveau d'eau dans le trou de sondage ou le niveau auquel le trou de sondage s'est refermé.
- **Plan/Croquis des lieux d'exécution**  
La localisation réelle des essais de pénétration est indiquée avec la numérotation exacte sur le plan remis par le maître d'ouvrage. S'il ne dispose pas de ce genre de plan, le chef sondeur réalisera un croquis des emplacements des essais.

- **Relevé des coordonnées des essais**

Les emplacements des essais et les niveaux initiaux sont mesurés. La précision minimum du mesurage est de 0,5 m pour les coordonnées x-y, et de 5 cm pour la coordonnée z.

### 1.2.3. Rapportage des résultats des essais de pénétration

Le rapport souhaité dépend du type de mission qui a été demandée. Le rapportage pour une mission de type G1 est donné ci-dessous.

- **Envoi de diagramme de sondage**

Les diagrammes de sondage (DS) sont remis dans les 5 jours ouvrables au maître d'ouvrage sauf convention contraire.

- **Rédaction d'un rapport d'essais**

Un rapport d'essais (RE) est établi une fois la mission totalement terminée. Outre ce rapport d'essais, l'entreprise de sondages établit également des rapports de terrain (RT) à usage interne; elle conserve ces rapports (avec les données brutes des mesures) pendant au moins 10 ans et doit pouvoir les présenter sur simple demande du maître d'ouvrage. L'envoi à des tiers des résultats et/ou des rapports des essais de pénétration ne peut se faire que moyennant l'autorisation écrite du maître d'ouvrage.

- **Diagrammes de sondage**

Etant donné que les diagrammes de sondage sont eux aussi considérés comme des documents distincts, des exigences minimales sont imposées quant aux informations qui doivent y figurer.

Les symboles et unités à utiliser se retrouvent au point *Symboles et unités*.

Il y a lieu d'être attentif au fait que les fichiers de données brutes provenant de l'unité de sondage doivent également être disponibles sous forme numérique auprès de l'entreprise de sondages et doivent pouvoir être remis sur demande du maître d'ouvrage. Les fichiers doivent être de format GEF ou XML.

- **Contenu des rapports**

Les rapports contiennent les données renfermées dans le tableau suivant.

Tableau - Rapportage des résultats des essais de pénétration

<b>Informations générales</b>	<b>RE</b>	<b>DS</b>	<b>RT</b>
Numéro de référence commande	X	X	X
Nom entreprise de sondages + coordonnées complètes	X	X	X
Nom et signature responsable entreprise de sondages pour le projet	X		
Nom et signature exécutant de l'essai			X
Nom maître d'ouvrage + coordonnées complètes	X		
<b>Informations mission</b>			
Informations sur l'ouvrage à ériger (en option)	X		
Lieu (commune, site) où les essais sont réalisés	X	X	X
Plan avec localisation des essais, avec de préférence coordonnées Lambert et cotes de niveau en DNG	X		
Système de coordonnées utilisé (Lambert, DNG ou références locales)	X		
<b>Informations techniques générales sur les essais</b>			
Référence et conformité à la norme EN/ISO exécution essais de pénétration	X	X	
Catégorie d'application de l'essai de pénétration	X	X	X
Ecarts par rapport à la norme lors de l'exécution des essais de pénétration	X		
Description des appareils utilisés	X		
Type d'essai exécuté (capacité, appareils, cône)	X	X	X
Profondeur éventuelle des préfouilles ou des forages préalables (avec indication du type de sol si possible)	X	X	X
Observations pendant l'exécution des essais de pénétration (craquages, rupture tubes de sondage, usure exceptionnelle, ...)	X	X	X
Installations spéciales (essais de pénétration depuis un ponton, un ponton-grue, ...)	X	X	X
<b>Informations techniques spécifiques sur les essais</b>			
Date exécution essai		X	X
Coordonnées X, Y essai		X	
Niveau essai avec indication DNG		X	
Niveau d'eau mesuré dans le trou de sondage ou trou de sondage refermé	(X)*	(X)*	X
Utilisation de tubes de guidage (casing)		X	X
Utilisation d'un réducteur de frottement		X	X
Coulissage tubes de sondage		X	X
Type de cône		X	X
Valeurs chiffrées suivant intervalle de mesure (sous forme de tableau ou numérique)	X		X
Identification du cône et des appareils de mesure utilisés			X
Données de calibrage des cônes et capteurs utilisés			X
Données brutes des essais de pénétration			X
Enregistrement des temps pendant essai			X
Points zéro cône avant et après essai			X
Corrections éventuelles pour dérive du point zéro		X	X
Emplacement filtre piézocône	X	X	X
Méthode saturation piézocône	X		

\* Les données relatives au niveau d'eau sont mentionnées dans le rapport d'essai et/ou sur le diagramme de sondage; le caractère purement indicatif de cette mesure doit dans tous les cas être signalé dans le rapport d'essais.

- **Etablissement des diagrammes de sondage**

Les diagrammes de sondage indiquent les valeurs mesurées en fonction de la profondeur

- Pour les sondages électriques, ce sont:
  - La résistance au cône  $q_c$  en MPa
  - Le frottement latéral local  $f_s$  en MPa
  - Le coefficient de frottement  $R_f$  en %
  - L'inclinaison  $i$  (en option) en °
- Pour les sondages mécaniques, ce sont:
  - La résistance au cône  $q_c$  en MPa
  - La résistance totale de frottement latéral  $Q_{st}$  en kN
  - Le frottement latéral local éventuel  $f_s$  (en cas d'utilisation de cône M2 ) en MPa
  - Le coefficient de frottement éventuel  $R_f$  (en cas d'utilisation de cône M2) en %

On indique également par une lettre sur les diagrammes de sondage à quelle profondeur

- Des tubes de guidage (casing) ont été placés V
- Les tubes de sondage ont été coulissés E
- Le réducteur de frottement a été utilisé K
- L'essai de pénétration a été arrêté (et repris plus tard) S
- Des couches dures ont été pénétrées par forage ou par une autre technique B

Pour permettre une évaluation visuelle correcte des diagrammes de sondage, il est essentiel qu'ils soient établis suivant un rapport d'échelle uniforme; tel que stipulé dans les normes.

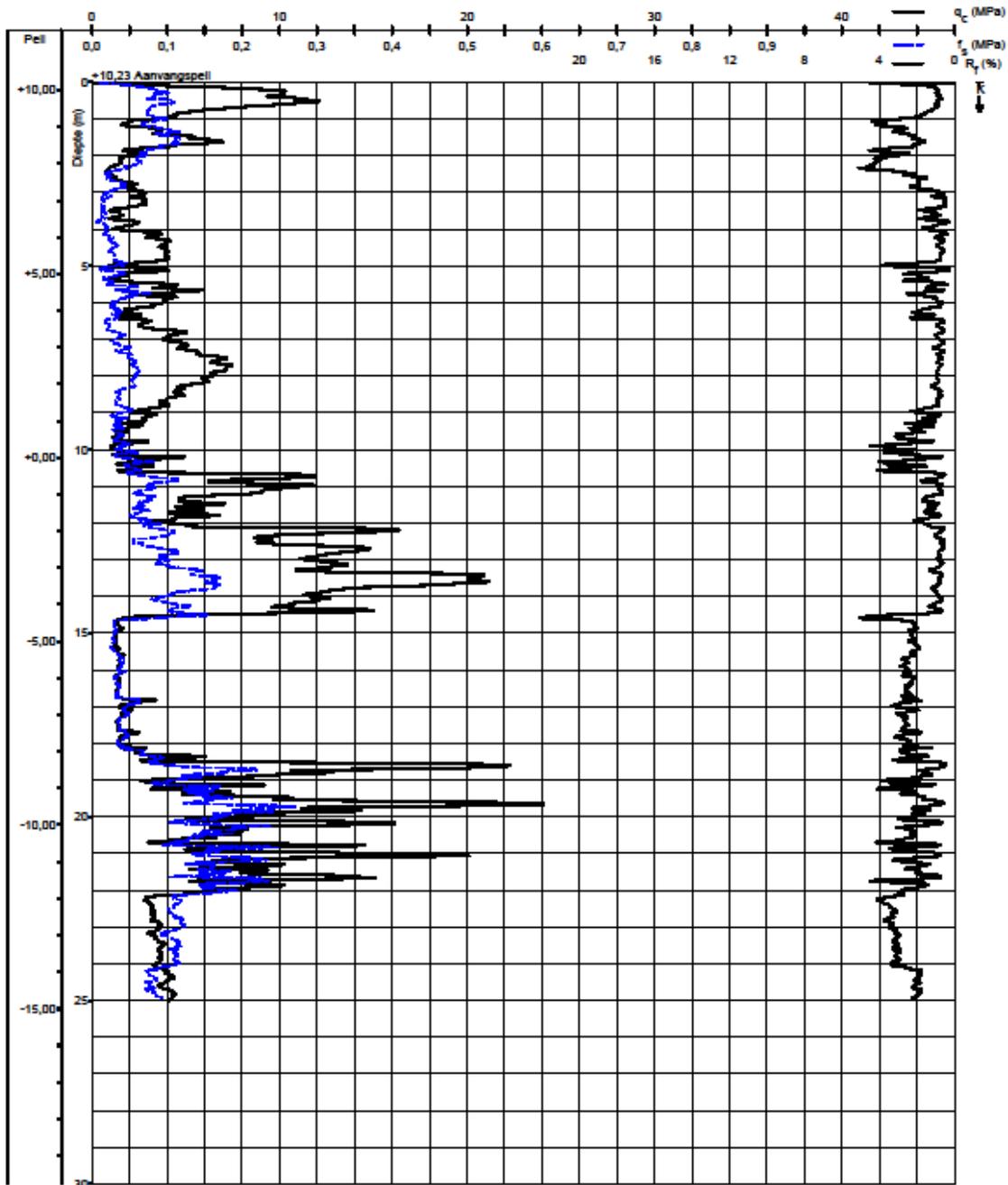
Les rapports d'échelle suivants, **qui ne peuvent pas être modifiés**, s'appliquent aux diagrammes de sondage (à cet effet, la longueur unitaire est supposée égale à un intervalle de 1 m sur l'échelle de profondeur; cette longueur unitaire est de préférence supposée égale à 1 cm) :

- Echelle de profondeur 1 m/longueur unitaire
- Résistance au cône  $q_c$  2 MPa/longueur unitaire
- Frottement latéral local  $f_s$  0,05 MPa/longueur unitaire
- Coefficient de frottement  $R_f$  2 %/longueur unitaire
- Frottement latéral total  $Q_{st}$  5 kN/longueur unitaire\*
- Inclinaison éventuelle  $i$   
(peut aussi se présenter sous forme de tableau) pas de rapport d'échelle imposé

- *On peut éventuellement utiliser un diagramme supplémentaire à une échelle plus grande (p.ex. 10 kN/longueur unitaire).*

# Exemple de diagrammes d'essai CPT : essai électrique

SONDERING (CPT-E)			
Opricht <b>SON-12/036</b>	Datum <b>05/07/2012</b>	<b>WIELSBEKE (SINT-BAAFS-VIJVE)</b> x = 82410,47 y = 178313,76 z = +10,23	Proef <b>S5</b>
Apparaat : 200kN - TRACK-TRUCK - TE1		Conus : E	Uitgevoerd door : Naam Sondeerfirma
Uitgevoerd conform ISO - FDIS 22478-1 : 2012			

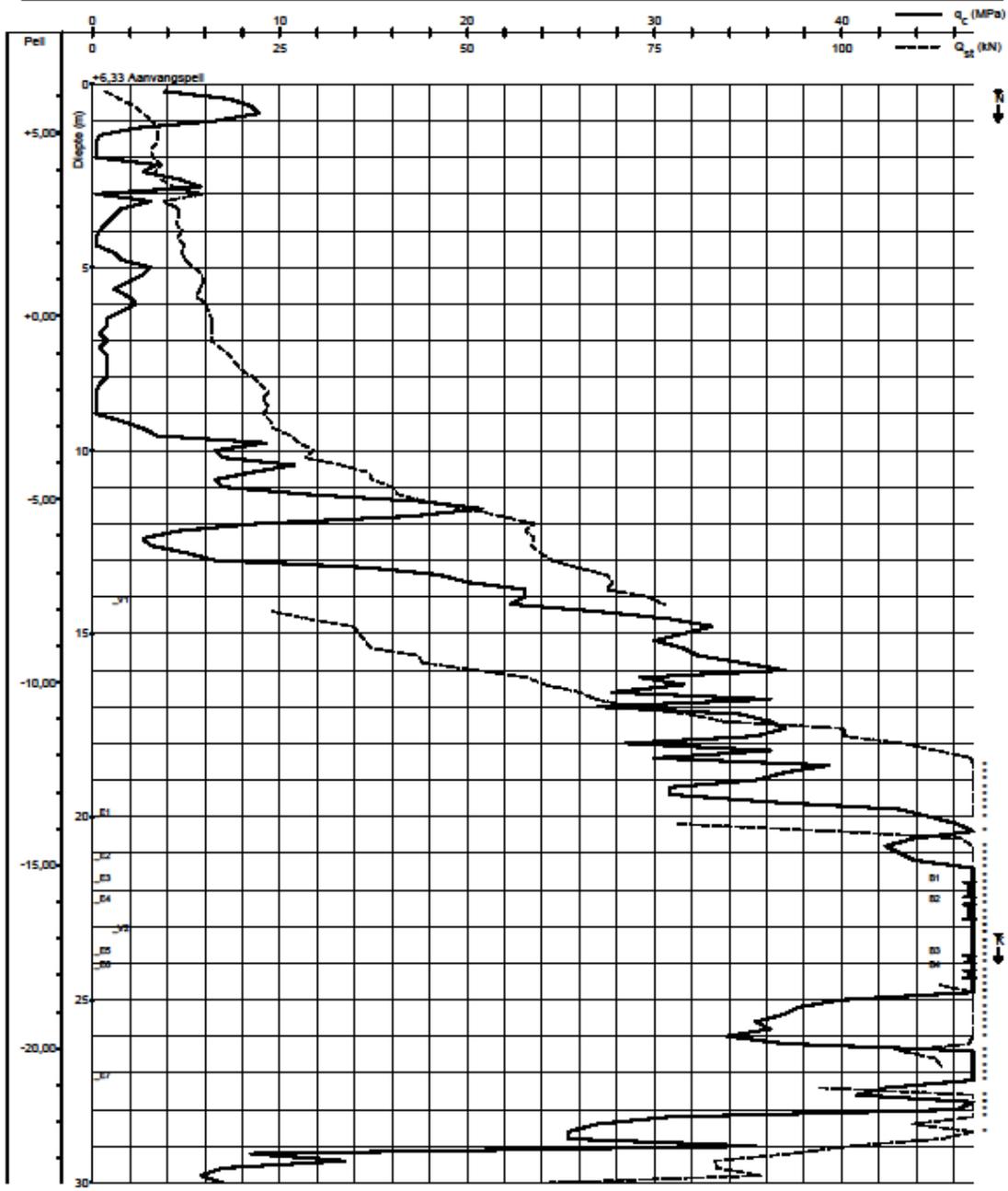


Naam Sondeerfirma

SON-12/036  
Bijlage :

# Exemple de diagrammes d'essai CPT : essai mécanique

SONDERING (CPT-M)			
Opdracht <b>SON-12/110</b>	Datum <b>14/07/2012</b>	DOEL <b>x = 142095,13 y = 219264,93 z = +6,33</b>	Proef <b>S1</b>
Apparaat : 200kN - MAN2 - T1		Conus : M1	Uitgevoerd door : Naam sondeerfirma
Uitgevoerd conform NBN EN ISO 22476-12 : 2009			
Grond aan de conus : grijze klei			



Naam Sondeerfirma

SON-12/110  
Bijlage :

## 2. Cahier des charges type pour essais de pénétration pour une mission de type G1

### GÉNÉRALITÉS

Les dispositions du "Guide de planification et d'exécution des essais de pénétration" que l'on peut retrouver sur le site web du Groupement Belge de Mécaniques des Sols et de la Géotechnique <http://www.bggg-gbms.be> s'appliquent à la commande d'essais de pénétration.

Cela implique, en particulier, que les essais de pénétration soient exécutés conformément aux normes NBN EN ISO 22476-12 pour les essais mécaniques et NBN EN ISO 22476-1 pour les essais électriques.

### 2.1. Traçage et relevé des emplacements des essais

#### 2.1.1. Tracé des emplacements des essais

- L'emplacement des essais est indiqué sur le plan de situation joint au présent cahier des charges. L'emplacement est indiqué en coordonnées Lambert-72.
- L'entreprise réalisant les essais demande où se situent les impétrants (câbles et les conduites de distribution en sous-sol). Cette demande se fait toujours pour les essais sur les terrains publics et, dans la mesure où elle est pertinente, pour les essais sur terrain privé. A cet égard, il y a lieu de distinguer les essais effectués sur des terrains appartenant à la Région flamande, bruxelloise ou wallonne.
  - Région flamande  
L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois).
  - Région de Bruxelles-Capitale  
L'entreprise réalisant les essais de pénétration consulte les concessionnaires sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). La demande KLIP doit être introduite au plus tard 20 jours ouvrables et au plus tôt 40 jours ouvrables avant l'exécution effective des essais par leur exécutant (une demande KLIP dure 20 jours ouvrables et est valable 2 mois). Toutefois, comme le décret KLIP s'applique uniquement à la Région flamande, les concessionnaires ne sont pas tenus d'enregistrer leurs câbles et conduites souterrains via KLIP. Par contre, la demande KLIP est transférée automatiquement au CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be)).  
L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte donc les communes concernées afin d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires concernés en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.
  - Région wallonne  
L'entreprise réalisant les essais de pénétration demande les informations concernant les impétrants via <http://impetrants.met.wallonie.be> pour les impétrants gérés par le Service Public de Wallonie et via CICC-KLIM ([www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be) pour les autres impétrants).  
L'entreprise réalisant les essais de pénétration contacte les communes concernées afin

d'obtenir une liste des concessionnaires. Elle envoie ensuite une lettre recommandée à tous les concessionnaires en vue d'obtenir des informations sur les implantations demandées.

- Avant le début de la campagne de sondage, les emplacements des essais à réaliser sont tracés par le prestataire de service sur base des plans fournis et /ou des coordonnées Lambert-72.

### **2.1.2. Relevé des points de sondage**

- Une fois les essais de pénétration exécutés, leur localisation est indiquée sur un plan de situation clair à l'aide de références valables.
- Les coordonnées Lambert-72 et les cotes de niveau exprimées en DNG des différentes localisations des essais de pénétration sont mesurées et intégrées dans les rapports.
- La précision de la mesure de niveau (coordonnée z) est d'au moins 5 cm.
- Les essais de pénétration sont numérotés tels qu'indiqués sur le plan de situation.
- Si le maître d'ouvrage n'a pas communiqué de numérotation, l'entreprise de sondage attribue sa propre numérotation qui fait clairement référence aux points de sondage et est notée sur les plans de situation. Si des essais de pénétration ont déjà été effectués par le passé, la numérotation des nouveaux essais de pénétration prend la suite logique des essais précédents.

### **2.1.3. Nature du contrat**

Ce poste est exprimé en QP pc. .

## **2.2. Préfouilles**

### **2.2.1. Description générale**

Les préfouilles sont réalisées aux emplacements désignés pour les essais de pénétration, compte tenu de la présence d'impétrants. En ce qui concerne impétrants qui pourraient mettre en péril la sécurité du personnel exécutant en cas d'accident (notamment les conduites de gaz et les lignes électriques), un rendez-vous sera pris de manière à ce qu'un représentant de la société concernée soit présent lors de la réalisation des préfouilles.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de mettre les conduites à nu. Si la conduite à mettre à nu se trouve à plus grande profondeur (plus de 2 m) et/ou que l'on ne trouve pas les conduites, les mesures supplémentaires à prendre sont définies en concertation avec le maître d'ouvrage.

La date de début de la réalisation des préfouilles est communiquée au maître de l'ouvrage. En outre, les mesures nécessaires sont prises et les permis nécessaires sont demandés en ce qui concerne la signalisation à mettre en place, les déviations éventuelles de la circulation, ...

La réalisation des préfouilles sera aussi proche que possible de la réalisation de l'étude du sol. Après l'exécution des essais de pénétration, le terrain doit être remis dans son état initial.

Les plans de situation des impétrants permettent de se faire une idée plus précise de la localisation de ces impétrants. Cependant, ces indications ne sont pas toujours complètes et suffisamment précises. De ce fait, les travaux doivent être exécutés avec la prudence nécessaire.

## **2.2.2. Préfouille par préforage manuel en vue de détecter des conduites**

Ceci comporte le préforage manuel jusqu'à une profondeur de 1.50 m minimum et de 2m maximum à l'emplacement des emplacements d'essais en vue de détecter la présence d'impétrants éventuels.

Si l'on vient à buter contre des ouvrages ou des obstacles en sous-sol qui empêchent l'exécution manuelle du forage préalable, on peut envisager d'exécuter un forage mécanique à l'aide d'une tête de tarière pour pierre jusqu'à une profondeur à laquelle on ne rencontrera plus d'obstacles et où l'on pourra, par conséquent, commencer l'essai de pénétration. Ces opérations ne sont effectuées qu'après concertation avec le maître d'ouvrage. Ce poste supplémentaire est exprimé en mètre et est calculé depuis la profondeur à laquelle le préforage manuel a été arrêté, jusqu'à la profondeur totale du préforage.

Si l'essai de pénétration n'a pas lieu directement après le préforage, un tube d'attente en PVC sera installé à l'emplacement de l'essai. Le tube d'attente est placé verticalement et muni d'un couvercle amovible. L'espace annulaire du préforage sera comblé autour du tuyau d'attente.

## **2.2.3 Remblayage et nivellement**

Le préforage forage préalable est soigneusement remblayé et nivelé.

## **2.2.4 Nature du contrat**

Un prix fixe est calculé par préfouille ou préforage pour atteindre une profondeur maximale de 2m sous le niveau du sol, y compris remise en l'état initial; on distingue 3 types de préfouille:

- préfouille dans un sol non revêtu
- Préfouille dans un sol revêtu hors réseau routier (parking, allée, ...)
- Préfouille dans une voirie revêtue et un revêtement en béton (voie publique, piste cyclable, plate-forme de quai, ...)

Le prix unitaire pour les préfouilles comprend toutes les activités préparatoires, la réalisation manuelle ou mécanique des préfouilles, la livraison de tous les matériaux nécessaires et l'amenée et/ou l'évacuation de tous les matériaux et matériels nécessaires.

La mise à nu de conduites est imputée dans un poste distinct.

Le prix unitaire pour la mise à nu des conduites comprend toutes les activités spécifiques nécessaires à cet effet.

Ces postes sont exprimés en QP pièces.

Le prix unitaire pour la réalisation mécanique de préfouilles, à l'aide d'une tête de tarière pour pierre en vue de percer des ouvrages et/ou obstacles en sous-sol qui sont distingués conjointement à un intervalle de profondeur de plus de 0.3m, est calculé séparément et comprend un poste pour l'amenée et l'évacuation du matériel nécessaire et un poste pour l'exécution des forages mécaniques préalables par mètre.

## 2.3. Amenée et évacuation des appareils CPT

### 2.3.1. Description générale

Ceci concerne l'amenée et l'évacuation des appareils nécessaires pour exécuter les essais de pénétration.

### 2.3.2 Nature du contrat

Ce poste est exprimé sous forme de prix global.

## 2.4 Installation des appareils CPT

### 2.4.1 Lieux souhaités pour l'exécution et écarts tolérés

Les essais de pénétration sont exécutés aux endroits prévus par le maître d'ouvrage.

Le prestataire de services est réputé s'être assuré sur place de l'accessibilité du terrain où les essais sont prévus. Il engage les appareils adéquats pour les essais de pénétration à réaliser.

Si la localisation de l'essai de pénétration doit être déplacée de plus de 1m, le prestataire de service en consigne la raison dans le rapport de sondage. Le déplacement de plus de 5m du point de sondage est décidé en concertation avec le maître de l'ouvrage.

Si les points de sondage ne peuvent pas être atteints même par des véhicules sur chenilles en raison de la force portante limitée de la sous-couche, l'entreprise de sondage place des plaques de roulage.

### 2.4.2. Nature du contrat

Ce poste est exprimé en QP pc.

## 2.5. Exécution des essais de pénétration et des résultats

### 2.5.1. Exécution

Les essais de pénétration sont exécutés conformément aux normes NBN EN ISO 22476-12 pour les essais mécaniques et NBN EN ISO 22476-1 pour les essais électriques.

La capacité d'enfoncement totale nécessaire des appareils CPT est de 100kN / 200kN (*biffer la mention inutile.*)

La difficulté d'accès d'un certain nombre de points de sondage impose de prévoir des essais de pénétration à une capacité de pénétration <100kN (p.ex. 25kN ou 50kN).

La profondeur des essais de pénétration est de .....m, compte tenu des limitations des appareils de sondage à engager (force de pénétration maximale).

L'essai de pénétration doit être exécuté sous forme de

- *essai continu au cône électrique (CPT-E),*
- *essai continu au piézocône (CPT-U),*
- *essai discontinu au cône mécanique (CPT-M),*
- *essai continu au cône mécanique (CPT-M).*

*(biffer les mentions inutiles)*

La catégorie d'application des essais de pénétration est: 2/3/4/5/6/7 *(biffer les mentions inutiles)*

Il est indispensable de travailler suivant un système qualité propre ou, mieux encore, selon un système qualité accrédité Belac ISO 17025.

L'appareil CPT doit être équipé de manière à ce que, si les circonstances l'exigent ou à la demande du maître d'ouvrage, il soit possible de passer immédiatement du sondage électrique au sondage mécanique discontinu ou continu.

Le cône utilisé pour l'essai de pénétration a une section de 10 cm<sup>2</sup>. L'emploi d'un cône de plus grand ou plus petit diamètre ne peut se faire que moyennant notification et accord du maître d'ouvrage.

Le soumissionnaire s'assurera, dans la mesure du possible, de la composition des couches à l'endroit des points d'exécution en consultant des données géotechniques connues (voir p.ex. <http://dov.vlaanderen.be> pour la Flandre et <http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/> pour la Wallonie).

S'il y a lieu d'arrêter un essai de pénétration à petite profondeur (<5m), un nouvel essai sera recommencé à faible distance de l'essai arrêté trop tôt. Cette opération ne sera effectuée qu'une seule fois, sauf ordre contraire du maître d'ouvrage. Recommencer un essai n'est pas nécessaire si l'on n'a pas connaissance d'obstacles dans le sous-sol (restes d'anciennes fondations, toutes sortes d'obstacles résistants dans un remblai,...) et/ou en présence de couches dures dans des horizons géologiques (bancs de grés, ...) impénétrables avec un appareil de sondage de 200 kN (y-compris coulissage des tubes de sondage).

### **Essais électriques**

Les essais de pénétration sont exécutés à l'aide de:

- *un cône électrique standard*
- *un piézocône*
- *un piézocone assorti d'essais de dissipation*

*(Biffer les mentions inutiles)*

En cas d'essais de dissipation, il y a lieu d'indiquer les profondeurs auxquelles ces essais doivent être exécutés.

### **Essais mécaniques**

Les essais de pénétration sont exécutés à l'aide de:

- *Cône M1*
- *Cône M2*

*(Biffer les mentions inutiles)*

## L'emploi d'un réducteur de frottement

- *N'est pas nécessaire*
- *Est nécessaire pour tous les essais de pénétration*
- *Est nécessaire pour un certain nombre d'essais de pénétration: .....*

*(Biffer les mentions inutiles)*

### 2.5.2. Rapportage des résultats

Un rapport d'essais est établi une fois la mission totalement terminée. Outre ce rapport d'essais, l'entreprise de sondage établit également des rapports de terrain internes. Ces rapports de terrain (contenant les données brutes des mesures) sont conservés par l'entreprise de sondage et doivent être présentés sur demande du maître d'ouvrage. L'envoi à des tiers des résultats et/ou des rapports des essais de pénétration ne peut se faire que moyennant l'autorisation écrite du maître d'ouvrage.

Le rapport d'essais contient uniquement les résultats des essais. Des valeurs dérivées et/ou des interprétations et avis peuvent être repris dans une partie distincte du rapport.

Etant donné que les diagrammes de sondage sont eux aussi considérés comme des documents distincts, des exigences minimales sont imposées aux informations qui doivent y figurer.

De plus, les rapports doivent être totalement conformes à la "Procédure standard pour les études géotechniques – Essais de pénétration - Partie 1: Planification, exécution et rapportage des résultats" du GBMS : <http://www.bggg-gbms.be>.

Les données de calibrage du corps de mesure et du cône utilisés doivent être disponibles et être transmises sur demande du maître d'ouvrage.

### 2.5.3. Métré et imputation

Le prix des essais de pénétration comprend l'ensemble des rapports de tous les paramètres mesurés. Ces paramètres doivent être conformes avec les dispositions des documents de référence.

A moins que des opérations ayant causé directement la rupture aient été exécutées sur demande expresse du maître d'ouvrage, les dommages éventuels au cône, au réducteur de frottement, aux tubes de sondage, à l'appareil CPT, etc., quelle qu'en puisse être la cause, ne peuvent pas être répercutés sur le maître d'ouvrage et doivent être considérés comme une charge de l'entreprise.

En aucun cas, le prestataire de service ne pourra invoquer un temps d'attente ou un "stand-by" pour les périodes d'inactivité causées par un matériel inadéquat ou mal entretenu et/ou un mauvais usage de ce matériel et/ou des dommages aux appareils qui n'ont pas été causés par l'exécution d'opérations spécifiques sur demande du maître d'ouvrage.

Si, lors de l'exécution d'un essai de pénétration, la résistance maximale à la pénétration est atteinte avant 3 m (pour un essai de pénétration d'une capacité < 100 kN) ou de 5 m (pour les essais de pénétration d'une capacité ≥ 100 kN) de profondeur sous le niveau de départ de l'essai en raison de la présence en sous-sol de roche durcie ou d'une inclusion dure, le prestataire de service peut réclamer les "coûts d'installation" de cet essai de pénétration arrêté prématurément.

## 2.5.4. Nature du contrat

Ce poste est imputé en QP pc pour les essais de pénétration d'une capacité de pénétration de 100 kN jusqu'à 10 m de profondeur; pour les essais de pénétration à une profondeur supérieure à 10 m, les mètres supplémentaires sont imputés en plus.

Ce poste est imputé en QP pc pour les essais de pénétration d'une capacité de pénétration de 200 kN jusqu'à 20m; pour les essais de pénétration à une profondeur supérieure à 20m, les mètres supplémentaires sont imputés en plus.

Si, pendant l'exécution de la campagne d'essais de pénétration, le maître d'ouvrage décide de passer à des sondages mécaniques en discontinu, le même prix unitaire par essai de pénétration sera maintenu.

## 2.5.5. Remplacement du premier tube par un tube équipé d'un réducteur de frottement

- **Moment d'exécution**  
Lorsque l'exécution de l'essai de pénétration atteint la capacité maximale et que le coulisage n'apporte rien.
- **Exécution**  
Remplacement du premier tube par un tube équipé d'un réducteur de frottement, en ce compris l'ensemble des livraisons, traitements, opérations et difficultés.
- **Nature du contrat**  
Ce poste est exprimé en QP pc.
- **Métre et imputation**  
Si, avant le début de l'essai de pénétration, le maître de l'ouvrage demande au prestataire de service d'utiliser dès le début un tube équipé d'un réducteur de frottement, cette majoration n'est pas accordée.

## 2.5.6. Application de techniques spéciales afin de pénétrer des horizons rocheux

- **Préforage mécanique**  
Lorsque des essais de pénétration bloquent sur des horizons rocheux avant d'avoir atteint la profondeur finale demandée, le maître d'ouvrage peut demander de procéder à un préforage mécanique pour éliminer la couche résistante. L'essai de pénétration se poursuit après que le forage de cette couche.
- **Nature du contrat**  
Ce poste est exprimé:
  - en QP pc en ce qui concerne l'amenée et l'enlèvement de l'installation de forage
  - en QP par épaisseur de couche de 10 cm en ce qui concerne le forage
- **Marteau pneumatique**  
Lorsque des essais de pénétration butent sur des horizons rocheux avant d'avoir atteint la profondeur finale demandée, le maître d'ouvrage peut demander la technique du marteau pneumatique pour pénétrer la couche dure. L'essai de pénétration se poursuit après percement de la couche indurée.

- **Nature du contrat**  
Ce poste est exprimé:
  - en QP pc en ce qui concerne l'amenée et l'enlèvement de l'installation de marteau pneumatique
  - en QP par épaisseur de couche de 10 cm en ce qui concerne le battage au marteau

### **2.5.7. Mesure de la pression d'eau interstitielle (CPT-u) en cas de sondages électriques continus**

- **Exécution**  
Outre la résistance au cône et le frottement local, on mesure également le paramètre suivant:
  - la tension d'eau interstitielle u.

Il y a lieu d'accorder l'attention nécessaire à la saturation du cône et au maintien de cette saturation; on effectuera éventuellement un forage préalable jusqu'au niveau de la nappe phréatique avant de sonder. Un nouvel élément filtrant entièrement saturé sera mis en place après chaque essai de pénétration. Les équipements nécessaires à cette fin doivent être présents dans le véhicule de sondage.

La procédure de saturation du piézocône est établie dans les instructions du fabricant ou du fournisseur du piézocône. Cette procédure est examinée et approuvée en concertation avec un délégué du maître de l'ouvrage avant le début de la série d'essais de pénétration au piézocône. Si cette procédure ne satisfait pas, l'exécutant prend les dispositions nécessaires pour exécuter l'essai correctement et efficacement.

- **Nature du contrat**  
Ce poste est exprimé en QP pc. Une pièce correspond à un essai de pénétration.
- **Métre et imputation**  
Ce poste comprend uniquement le supplément par rapport au sondage électrique pour le mesurage de la tension de l'eau interstitielle.

### **2.5.8. Exécution d'essais de dissipation en cas de sondages électriques continus avec mesurage de la pression d'eau interstitielle**

- **Localisation**  
Les profondeurs auxquelles les essais de dissipation doivent être réalisés sont établies par le maître d'ouvrage.
- **Exécution**  
Pendant l'essai de pénétration, après avoir atteint la profondeur adéquate pour la réalisation d'un essai de dissipation, les tubes de sondage sont déchargés et la mesure de la pression interstitielle commence immédiatement. Les pressions eau interstitielles sont mesurées avec une régularité suffisante. La procédure préconisée est soumise à l'approbation du maître d'ouvrage. En tout état de cause, on prévoit des mesures au minimum toutes les 5 secondes pendant la première minute, ensuite toutes les 30 secondes jusqu'à 30 minutes et enfin toutes les 5 minutes, afin de pouvoir déterminer l'évolution des pressions de manière suffisante. Il est indiqué de commencer par mesurer avec de très petits intervalles de temps; les intervalles de temps peuvent être allongés au fur et à mesure (suivant une évolution logarithmique).

La durée pendant laquelle il convient de mesurer la dissipation dépend du type de sol. La durée maximale de l'essai est convenue au préalable avec le maître d'ouvrage. En principe, l'essai se poursuit au moins jusqu'à ce que la pression interstitielle atteigne la moitié de ce qu'elle était au moment de l'arrêt de l'essai de pénétration. On s'en tient normalement à une durée de 30 minutes.

- **Nature du contrat**

Ce poste est exprimé en QP pc. Une pièce correspond à 1 essai de dissipation.

### ***En option***

#### **CONTRAT TYPE D'ETUDE GEOTECHNIQUE**

#### **ESSAIS DE PÉNÉTRATION PROFONDS**

---

#### **CAHIER SPECIAL DES CHARGES n°**

---

Le soussigné (Nom et prénom):

Qualité ou profession:

Nationalité:

Lieu de résidence (Pays, Commune, Rue, Numéro):

*Ou (1)*

La société (Raison commerciale ou dénomination, forme juridique, nationalité, siège):

Représentée par le(s) soussigné(s):

*Ou (1)*

Le(s) soussigné(s) et/ou la/les société(s) qui interviennent à titre d'association sans personnalité juridique (pour chacun d'entre eux, les mêmes données que ci-dessus):

Association qui est représentée pour sa gestion par l'un d'entre eux, à savoir:

---

(1) Biffer les mentions inutiles.

s'engage ou s'engagent sur leurs biens meubles et immeubles à exécuter, conformément aux dispositions et conditions du cahier des charges susmentionné, la mission décrite dans ledit cahier des charges.

Pour la somme de:

en chiffres: (TVA comprise):

en toutes lettres: (TVA comprise):

#### **RENSEIGNEMENTS GENERAUX**

- Inscription à l'ONSS: n°

- TVA (uniquement en Belgique): n°

---

## **SOUS-TRAITANTS**

Aucun sous-traitant ne sera utilisé.

*Ou (1)*

Les sous-traitants qui seront utilisés possèdent la nationalité:

## **PERSONNEL**

Le personnel qui sera utilisé possède la nationalité:

## **PAIEMENTS**

Les paiements seront effectués valablement par virement sur le compte numéro de l'organisme financier ouvert au nom de

---

(1) Biffer les mentions inutiles.

## **ATTESTATION ONSS**

(pour le soumissionnaire belge)

Une attestation de l'Office National de Sécurité Sociale mentionnant l'état du compte auprès de cet organisme est jointe à la présente offre, conformément à l'art. 90 §3 de l'AR du 8 janvier 1996 (1).

*Ou (2)*

(pour le soumissionnaire étranger)

Une attestation est jointe à la présente offre conformément à l'art. 90 §3 de l'AR du 8 janvier 1996.

## **ANNEXES**

Sont également joints à la présente offre (2):

- les documents datés et signés que le cahier des charges impose de présenter;
- les modèles, échantillons et autres renseignements que le cahier des charges impose de présenter.

Les essais de pénétration proprement dits peuvent être exécutés le: ..... (date)

La délivrance du rapport est souhaitée pour le: ..... (date).

Fait à ....., le .....  
Le(s) soumissionnaire(s).

- (1) Si la dette de cotisation dépasse 2.500 euros, le soumissionnaire est tenu de joindre à son offre tous les renseignements concernant les créances éventuelles visées à l'art. 43 bis § 1 ou 69 bis § 1 de l'AR du 8 janvier 1996.
- (2) Biffer les mentions inutiles.

**ETUDE GEOTECHNIQUE PAR ESSAIS DE PÉNÉTRATION**  
**OFFRE**

A remplir, dater, signer par le soumissionnaire et à joindre à sa soumission

QP = quantité présumée, QF = quantité forfaitaire

(REVOIR DANS LE TEXTE LES TERMES UTILISES PLUS HAUT)

Poste	Description	Prix	Unité	Quantité	Prix unitaire	Total
1	Frais administratifs pour demander des impétrants auprès des concessionnaires	QF	pc			
2	Implantation des emplacements des essais	QP	pc			
3	Préfouille manuelle préalable jusqu'à 1,5 m	QP	pc			
4	Percement revêtement					
4.1	Jusqu'à 20 cm	QP	pc			
4.2	Par cm supplémentaire	QP	pc			
5	En option: mise à nu impétrants	QP	pc			
6	En option: percement mécanique couches souterraines dures ou perforation inclusions dures avec appareils de forage					
6.1	Amenée et enlèvement appareils de forage	QP	pc			
6.2	Percement couches dures	QP	10 cm			
6.3	Stand-by appareils de forage	QP	heure			
7	Mise en place signalisation	QP	pc			
8	Mise en place plaques de roulage	QP	m			
9	Amenée/enlèvement appareils de sondage	QF	pc			
10	Coût de mise en place par essai de pénétration	QP	pc			
11	Sondage électrique 100 kN < 10 m	QP	pc			
12	Sondage électrique 100 kN > 10 m	QP	m			
13	Sondage électrique 200 kN < 20 m	QP	pc			
14	Sondage électrique 200 kN > 20 m	QP	m			
15	Majoration pour application cône de plus grand diamètre	QP	pc			
16	Perforation inclusions dures avec appareils de sondage	QP	10cm			
17	Mesurage pression d'eau interstitielle en cas de sondage électrique	QP	pc			
18	Essai de dissipation avec mesurage de pression d'eau interstitielle	QP	pc			
19	Temps d'attente et de retard non imputables à l'entreprise de sondages	QP	heure			
20	<b>Rapport</b>	QF	pc			
	<b>TOTAL</b>					
	<b>TVA 21%</b>					
	<b>TOTAL GENERAL</b>					

En option pour sondage mécanique

Poste	Description	Prix	Unité	Quantité	Prix unitaire	Total
21	CPT mécanique discontinu 100 kN < 10 m	QP	pc			
22	CPT mécanique continu 100 kN < 10 m	QP	pc			
23	CPT mécanique discontinu 100 kN > 10 m	QP	m			
24	CPT mécanique continu 100 kN > 10 m	QP	m			
25	CPT mécanique discontinu 200 kN < 20 m	QP	pc			
26	CPT mécanique continu 200 kN < 20 m	QP	pc			
27	CPT mécanique discontinu 200 kN > 20 m	QP	m			
28	CPT mécanique continu 200 kN > 20 m	QP	m			
29	Remplacement du premier tube par un tube équipé d'un réducteur de frottement	QP	pc			

Vu, étudié et complété avec l'indication des prix unitaires, des sommes partielles et totales, qui ont servi à établir le montant de ma soumission de ce jour, et à joindre à ladite soumission.

Fait à

Le(s) soumissionnaire(s)

## C. Commentaires

- Principes généraux pour la planification de la reconnaissance géotechnique
- Qualifications du géotechnicien et de l'expert géotechnique
- Contexte de la normalisation européenne
- Essais de pénétration (profonds) CPT
- Essais de pénétration électrique
- Cône électrique
- Essai au piézocône
- Essai de pénétration mécanique
- Essai mécanique discontinu
- Essai mécanique continu
- Cône M1
- Cône M2
- Réducteur de frottement
- Catégories d'application des essais de pénétration
- Techniques pour augmenter la profondeur d'essai
- Mesures du niveau de l'eau dans le trou de sondage
- Conduites souterraines

# Principes généraux pour la planification de la reconnaissance géotechnique

## (Étude de bureau, type d'essais et nombres d'essais)

Pour déterminer le contenu de la reconnaissance géotechnique, les actions suivantes sont nécessaires :

- Déterminer la catégorie géotechnique de la construction
- Etude de bureau : consulter les sources d'informations : données géotechniques et géologiques (y compris le Quaternaire), données de sol, données concernant les nappes, données historiques...
- Choix du type d'essais : ce choix est lié au(x) mécanisme(s) de rupture pertinent(s) de la construction et au type de chargement. Pour des projets conventionnels avec un degré de risque limité, la reconnaissance géotechnique peut se limiter à une étude de bureau couplée à la réalisation d'essais de pénétration ;
- Détermination du nombre d'essais : cette détermination est liée d'une part à l'hétérogénéité/homogénéité du sous-sol et d'autre part au degré de risque du projet

Les sources d'information à consulter sont données dans le tableau ci-dessous à titre informatif.

Table – Consultation de l'information géologique et géotechnique disponible (en italique : information à consulter obligatoirement)

Flandre	<i>Databank Ondergrond Vlaanderen DOV (Territoires flamand et bruxellois)</i>	<i>Une sélection pertinente d'essais de pénétration, de forage, de piézomètres disponibles dans les environs du site du projet</i>	
	<i>Cartes géologiques</i>	<i>Disponibles via DOV</i>	
	<i>Cartes hydrogéologiques</i>	<i>Disponibles via DOV</i>	
	<i>Cartes du sol</i>	<i>Disponibles via DOV</i>	
	<i>Cartes géotechniques (agglomérations de Gent et Antwerpen)</i>	<i>Zonage géotechnique, description des unités géologiques, épaisseur de sol remaniée/ couches du Quaternaire, niveaux de la nappe, coupes géologiques, informations relatives à des constructions historiques comme des douves ou canaux... Disponibles via DOV en pdf</i>	
	<i>Geopunt (Territoire flamand)</i>	<i>Photographies aériennes et cartes topographiques</i>	
		<i>Historique du site</i>	
<i>Relief d'une zone de projet</i>			
	<i>Cartes historiques (par ex. cartes Ferraris et anciennes cartes des villes)</i>		
Wallonië	<i>Géoportail de Wallonie</i>	<i>Une sélection pertinente d'essais de pénétration, de forage, de piézomètres disponibles dans les environs du site du projet</i>	
	<i>Cartes géologiques</i>	<i>Géoportail de Wallonie</i>	
	<i>Cartes thématiques</i>	<i>Géoportail de Wallonie</i>	
	<i>Cartes du sol</i>	<i>Géoportail de Wallonie</i>	

	<i>Cartes géologiques (Liège et Mons)</i>	<i>Zonage géotechnique, description des unités géologiques, épaisseur de sol remaniée/ couches du Quaternaire, niveaux de la nappe, coupes géologiques, informations relatives à des constructions historiques comme des douves ou canaux...</i>
--	---	--

Une étude de bureau doit être complétée d'une reconnaissance de terrain.

La présence de matériaux de remblais, de matériaux issus d'éboulement, la présence d'un sol gorgé d'eau et la présence d'inclusions rocheuses peuvent être détectées par cette reconnaissance. Une attention particulière doit aussi être accordée à l'état des constructions avoisinantes (apparition de fissures). Les noms des rues peuvent aussi donner une indication sur les conditions de sol auxquelles on peut s'attendre (rue des marais, rue de l'étang, rue du lac, rue des tourbières...).

### Essais in-situ

En ce qui concerne le type et la profondeur des essais, ceux-ci peuvent être déterminés par la nature du sol en place et par la nature de la construction. La profondeur est choisie de manière à pouvoir déterminer le comportement en déformation de la construction.

Pour cela, il est intéressant de consulter les résultats d'essais réalisés à proximité du site concerné. Ceux-ci peuvent donner une idée de la composition du sous-sol en place à partir de laquelle il sera possible d'estimer la profondeur d'investigation.

Les essais in-situ standards sont les essais de pénétration statique et les forages (éventuellement accompagnés de piézomètres). En fonction de la composition du sol et de la problématique spécifique, d'autres essais peuvent être envisagés (essais pressiométriques, essais scissométriques, essais géophysiques pour les zones karstiques...).

Concernant le nombre d'essais et la profondeur à atteindre, le lecteur peut aussi se référer à l'Eurocode 7 – Partie 2 pour une explication générale.

### Essais de laboratoire

Le type d'essai à réaliser sera déterminé en tenant compte de la composition du sous-sol du site, de la nature de la construction, du mécanisme de rupture et du comportement en déformation déterminants pour cette construction.

Pour cela, il est intéressant de consulter les résultats de l'étude de bureau (entre autres : les résultats d'essais, les observations réalisées à proximité du site concerné). Ceux-ci peuvent donner une idée de la composition du sous-sol en place à partir de laquelle il sera possible d'évaluer quels sont les paramètres géotechniques nécessaires.

Les essais de laboratoire standards sont les essais de reconnaissance, les essais triaxiaux, les essais oedométriques. ; En fonction de la composition du sol et de la problématique spécifique, d'autres types d'essais ou des essais complémentaires peuvent être envisagés.

Concernant les essais de laboratoire à réaliser, le lecteur peut aussi se référer à l'Eurocode 7 – Partie 2 pour une explication générale.

## Commentaires

# Qualifications des géotechniciens et des experts en géotechnique

*Les qualifications des géotechniciens et des experts en géotechnique sont fixées par le GBMS et seront définies par décision sur le site internet du GBMS : [www.bggg-gbms.be](http://www.bggg-gbms.be).*

## ***Géotechniciens***

*Assure l'élaboration de la reconnaissance géotechnique; les qualifications exigées et différenciées par type d'essai géotechnique (essais de pénétration, forages, essais de laboratoire, essais géophysiques) seront données sur le site internet du GBMS : <http://www.bggg-gbms.be>*

## ***Experts en géotechnique***

*Se porte garant des avis et études géotechniques ; les qualifications exigées et différenciées par catégorie géotechnique (GC2A, GC2B et GC3) seront données sur le site internet <http://www.bggg-gbms.be>*

## Commentaire

# Contexte de la normalisation européenne

Une série de normes européennes sont entrées en vigueur dans le domaine de la technique civile au niveau international.

Il s'agit de l'Eurocode Basis of design et des Eurocodes 1 à 9, parmi lesquels l'Eurocode 7 décrit le "calcul géotechnique" (Geotechnical Design). Les autres codes abordent les exigences fondamentales, les contraintes, le calcul des ouvrages en béton ou les ouvrages en autres matériaux.

L'Eurocode 7 "Calcul géotechnique" comporte 2 parties:

- Partie 1 (EN 1997-1): "Règles générales", où quelques chapitres (3.2 à 3.4) sont également consacrés au "Planning of ground investigations".
- Partie 2 "Reconnaissance des terrains et essais" (EN1997-2) décrit le calcul géotechnique reposant sur des essais en laboratoire ou in situ.

Dans ce cadre, le comité technique européen CEN/TC341 s'occupe de rédiger des normes européennes pour l'étude des sols.

L'état des normes relatives aux sondages électriques et mécaniques se présente comme suit:

- "Electrical cone and piezocone penetration tests" a été publié sous forme de prénorme ISO/DIS 22476-1-2006.
- "Mechanical cone penetration test (CPTM)" a été publié sous forme de norme internationale ISO 22476-12:2009

## Essais de pénétration (profonds) CPT

Un essai de pénétration statique, en abrégé essai de pénétration, (indiqué internationalement par les lettres CPT – *cone penetration test*) est un essai standardisé au cours duquel des tubes d'acier d'un diamètre standard de 36 mm et pourvus dans le bas d'une pointe conique sont enfoncés dans le sol à l'aide d'un vérin hydraulique à une vitesse standardisée imposée.

L'utilisation de cônes de diamètre plus grand ou plus petit (compris entre 25 et 50 mm) est autorisée.

Lors de l'enfoncement, la résistance du sol à la surface de la pointe et le frottement le long des tubes ou d'un élément de mesure spécialement prévu à cet effet (manchon de frottement) sont mesurés en fonction de la profondeur. Cette mesure s'effectue suivant un intervalle fixe (2cm à 20cm), selon le type d'essai de pénétration et la catégorie d'application de l'essai qui y est associée.

On effectue principalement des essais de pénétration afin d'obtenir des informations sur:

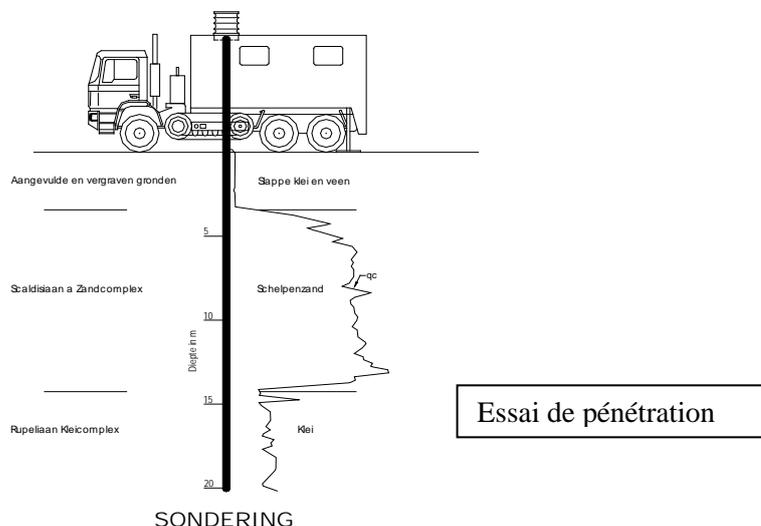
- la composition des couches locales et leur homogénéité/hétérogénéité
- la localisation de discontinuités et cavités éventuelles
- une première identification du type de sol.

Les résultats des essais de pénétration permettent également d'obtenir des données indicatives sur:

- les caractéristiques de résistance au cisaillement du sol
- les caractéristiques de déformation et de consolidation.

L'avantage de l'essai CPT – outre sa rapidité d'exécution et son coût limité – est qu'il procure un flux d'informations très détaillées sur l'ensemble de la profondeur sondée. On peut également identifier, de fines couches de sol qui présentent une composition ou un comportement déviant.

En outre, comme la mesure des paramètres est réalisée in-situ, l'état de contraintes régnant dans le sol est moins perturbé.



## Commentaire

### CPT électrique

Pendant l'exécution d'un CPT électrique, les forces exercées sur le cône sont mesurées par des cellules de pression situées dans le cône même; les signaux sont ensuite envoyés sous forme électrique, optique, acoustique ou par signaux radio au système d'enregistrement installé dans le véhicule de sondage. Ce cône porte le nom de cône électrique.

Lors de sondages électriques, les tubes et le cône sont toujours enfoncés ensemble et en continu dans le sol; c'est pourquoi l'on parle d'essai de pénétration *continu*. Au moment où la résistance au cône est mesurée, les tubes ont la même vitesse de pénétration que le cône. Lors de la réalisation de CPT électriques, chaque tube de sondage, d'1 m de long, est enfoncé en continu dans le sol en une seule passe.

## Commentaire

### Le cône électrique

Les cônes électriques sont équipés d'un manchon de frottement. Ce manchon a une superficie standard de 150 cm<sup>2</sup> et un diamètre qui doit ne pas être inférieur et être si possible égal à celui du cône. Le manchon de frottement est muni d'un équipement qui permet une lecture électrique de la résistance de frottement latérale exercée sur le manchon lors de la poussée. On peut alors déduire de ce relevé le frottement local par unité de surface  $f_s$ .

Le coefficient de frottement (ou friction ratio)  $R_f$  peut être déduit de la résistance au cône  $q_c$  et du frottement local  $f_s$ :  $R_f$  est le rapport en % entre le frottement local  $f_s$  et la résistance au cône  $q_c$ , mesurés à la même profondeur et exprimés en pour-cent. Comme ces rapports sont caractéristiques d'un type de sol donné, on peut déduire la nature du sol de la valeur  $R_f$ . Par exemple, pour les sables,  $R_f$  est de l'ordre de 1% et, pour l'argile,  $R_f$  est de l'ordre de 2 à 5%.

En outre, un inclinomètre intégré dans le cône permet de mesurer l'inclinaison du cône. Par intégration, on peut déterminer l'écart par rapport à la verticale et, au besoin, corriger la mesure de profondeur.

Un inclinomètre est également positionné dans le cône, ce qui permet de mesurer l'inclinaison du cône. Par intégration, il est ainsi possible de déterminer la déviation du sondage par rapport à la verticale, et de corriger si nécessaire la mesure de profondeur.

Des cônes électriques de plus grand diamètre (notamment le cône de 15 cm<sup>2</sup>) peuvent être utilisés; ils permettent dans certains cas d'atteindre des profondeurs plus importantes, grâce à leur plus grande robustesse.

## Le CPT muni d'un piézocône (CPTU)

Différents capteurs spécifiques peuvent être reliés au cône électrique en vue de récolter encore plus d'informations sur le sol. L'une des possibilités intéressantes est le sondage électrique avec mesure de la pression interstitielle. Ce sont les CPT munis d'un piézocône, désignés par l'abréviation internationale CPTU. Les principaux avantages des mesures CPTU par rapport au CPT conventionnel peuvent se résumer comme suit:

1. Possibilité d'établir une distinction entre pénétration totale drainée, partielle drainée et non drainée, d'où l'on apprend énormément sur la nature du sol;
2. Possibilité de déterminer les caractéristiques de consolidation du sol;
3. Possibilité d'évaluer les pressions hydrostatiques du sol;
4. Meilleur profilage et meilleure identification du sol.

Les variations entre les différents types de piézocônes sont essentiellement dues à la localisation de ce filtre dans le cône proprement dit (figure 1); p.ex. le piézocône avec filtre placé au bout du cône (u1), le piézocône avec filtre dans la partie cylindrique juste derrière la surface du cône (u2) et le piézocône avec filtre immédiatement derrière le manchon de frottement (u3).

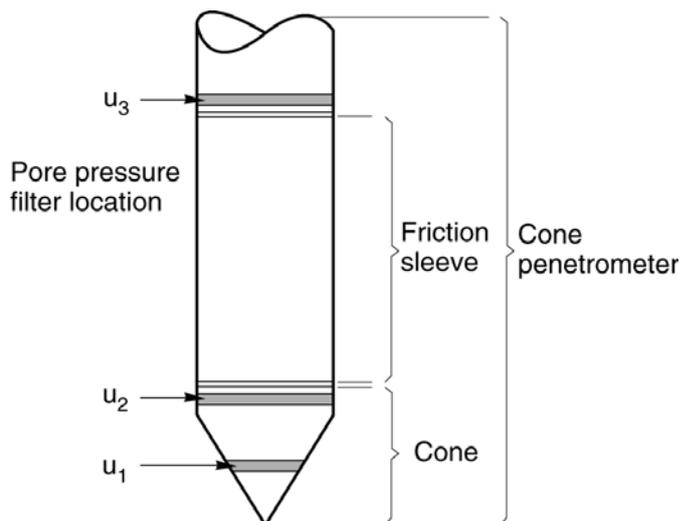


Figure 1: Localisations du filtre sur un piézocône

La figure 2 présente un résultat typique de CPTU. Les tensions d'eau interstitielle sont mesurées à l'aide d'un filtre entièrement saturé, en contact avec le sol et qui transmet les pressions à un transducteur.

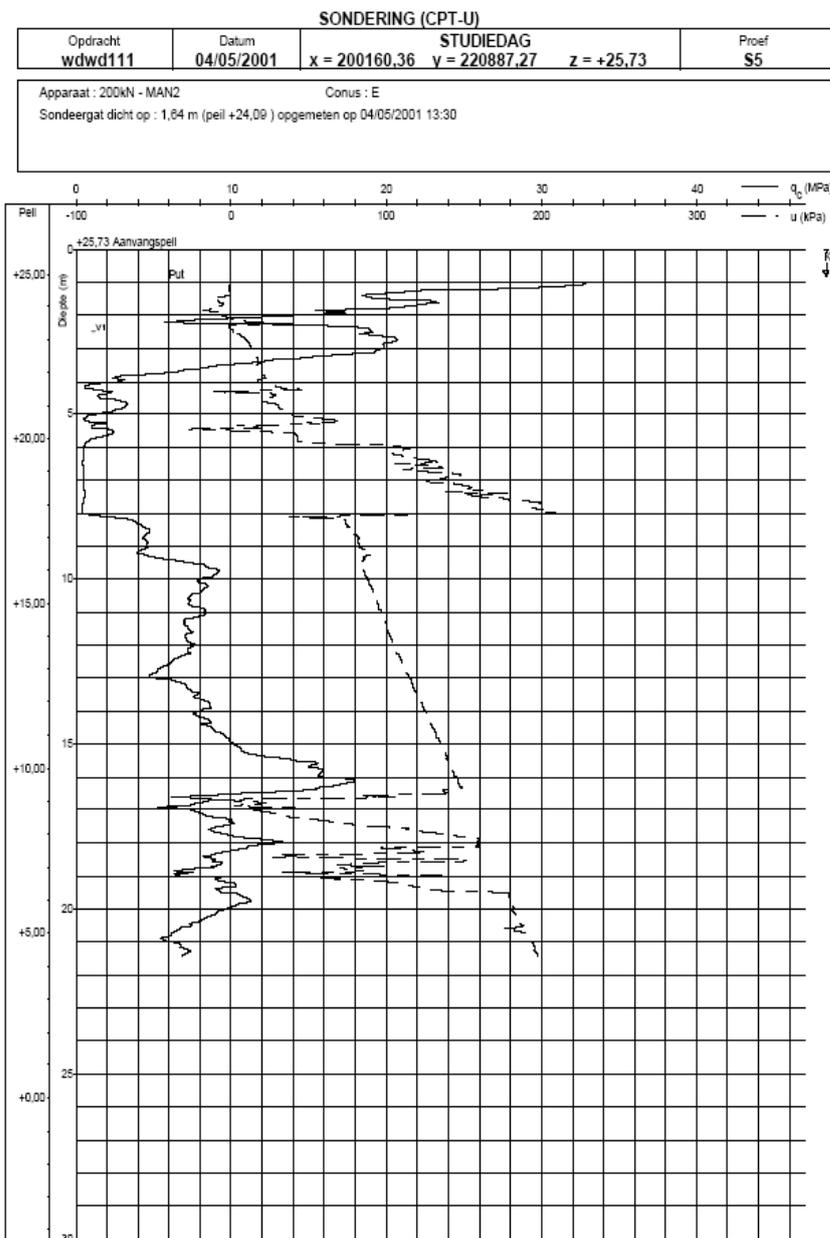


Figure 2: Diagramme de sondage au piézocône

La configuration standard est le piézocône type u2. Pour une bonne réalisation d'un CPTU, nous attirons l'attention sur l'importance d'une saturation complète de la pierre poreuse (mais également de la façon de préparer le matériel afin que la pierre ne se dénature pas), mais également du strict respect d'une vitesse d'exécution de 2cm/s. Un filtre non correctement saturé peut donner lieu à des mesures incorrectes de la pression interstitielle, surtout dans des sols mous peu perméables. Dans des sols très perméables, la surpression ou la sous-pression d'eau interstitielle disparaît (dans les sables dilatants) presque aussi vite qu'elle ne se crée du fait de la pénétration du cône. Le CPTU se produit donc dans des conditions 'drainées'. Toutefois, dans des sols cohérents, comme l'argile et le limon, d'importantes surpressions ou sous-pressions interstitielles peuvent se créer.

La résistance au cône peut être corrigée pour les effets de la pression interstitielle (résistance au cône corrigée  $q_t$ ).

$$q_t = q_c + (1 - a) u_2$$

où  $a$  est le *net area ratio*

$$a = \frac{A_n}{A_c} \text{ (voir figure 3)}$$

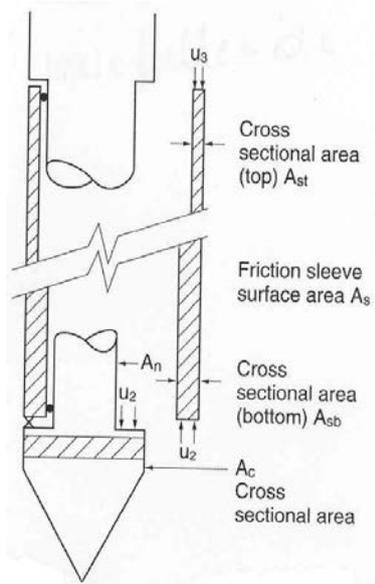


Figure 3: Correction de  $q_c$  pour l'effet de la pression interstitielle

Un paramètre très utilisé pour l'identification du type de sol est le *pore pressure ratio*  $B_q$ .

$$B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma_{v0}) \quad \text{où } \Delta u_2 = u_2 - u_0$$

Un essai de pénétration exécuté dans des argiles saturées provoque un glissement non drainé dans le sol et, par conséquent; une pression interstitielle élevée. Quand l'essai de pénétration s'arrête à une profondeur donnée, la surpression d'eau peut se dissiper pour atteindre finalement la pression hydrostatique au repos. La figure 2.10 présente un exemple de courbe de dissipation mesurée à l'aide d'un piézocône. Une modélisation théorique de ces courbes de dissipation mesurées pendant la réalisation d'un CPTU permet d'évaluer le coefficient de consolidation dans le sens horizontal  $c_h$  et le coefficient de perméabilité  $k_h$ .

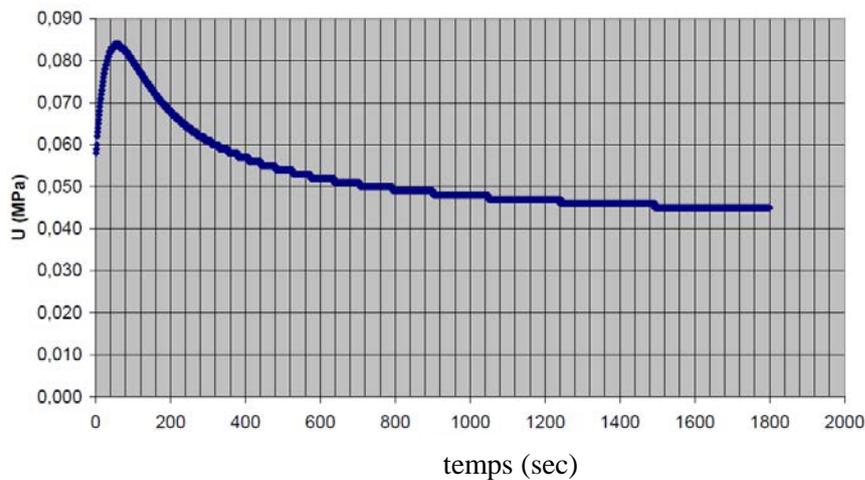


Figure 4: Exemple de courbe de dissipation.

## Commentaire

# CPT mécanique

Dans ce type d'essai de pénétration, le cône est enfoncé dans le sol au moyen de tubes d'acier munis de tiges intérieures. Les forces nécessaires à cet effet sont mesurées en haut des tubes à l'aide de manomètres (pression d'huile dans un vérin) ou de dynamomètres (capteurs de force) électroniques.

## Commentaire

# CPT mécanique discontinu

Dans ce type d'essai de pénétration, le cône est enfoncé dans le sol au moyen de tubes d'acier munis de tiges intérieures. Les forces nécessaires à cet effet sont mesurées en haut des tubes à l'aide de manomètres (pression d'huile dans un vérin) ou de dynamomètres (capteurs de force) électroniques.

Les CPT mécaniques discontinus sont caractérisés par le fait que, pendant la mesure, le cône subit un mouvement relatif par rapport aux tubes de sondage.

La méthode d'exécution d'un CPT mécanique discontinu se déroule comme suit (voir figure : mesure 1 résistance au cône - mesure 2 résistance totale = résistance au cône + résistance au frottement latéral):

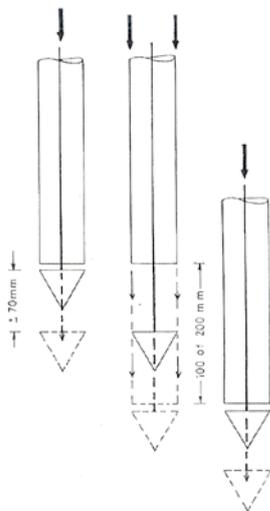


Figure 5: Exécution d'un CPT mécanique discontinu.

1. Lors de CPT mécaniques discontinus, les cônes peuvent effectuer des mouvements par rapport aux tubes. Ils sont entraînés mécaniquement au moyen de tiges. Ces tiges de 15 mm de diamètre peuvent coulisser librement dans des tubes d'acier étiré de même diamètre que le cône. Au fur et à mesure que le cône s'enfoncé, le nombre de tubes nécessaires est vissé sur le tube terminal.
2. Un raccord, situé au-dessus du niveau du sol, permet d'exercer la pression soit sur les tubes soit sur les tiges. Une chambre à huile équipée d'un manomètre ou des dynamomètres (capteurs de force) électroniques permettent de mesurer à tout moment la force exercée sur les tubes, d'une part, et sur les tiges, d'autre part.

3. On procède comme suit: quand les tubes et les tiges ont été enfoncés à la profondeur souhaitée, la force est transmise aux tiges et augmentée jusqu'au moment où le cône pénètre lentement dans le sol. Une fois que le cône a atteint sa position la plus basse par rapport au tube, la pression est à nouveau transmise aux tubes. Le bas des tubes entre bientôt de nouveau en contact avec le cône; à partir de ce moment, le cône est entraîné par les tubes et il est possible de mesurer la résistance totale à la pénétration; à la profondeur nouvellement atteinte, on peut à nouveau déterminer séparément la résistance au cône. En ce qui concerne la résistance au cône proprement dite, on note la valeur maximale de la résistance pendant la course libre.

## Commentaire

### **CPT mécanique continu**

La réalisation d'un CPT mécanique continu, le cône est enfoncé dans le sol au moyen de tubes d'acier munis de tiges internes. Avant le début de l'essai de pénétration, le cône est écarté de 1 à 2 cm (de manière à ne plus buter contre le tube de sondage). Ensuite, les tubes et les tiges internes sont poussés ensemble en un même mouvement continu. La résistance au cône et la résistance latérale au frottement sont déterminées par mesure, à l'aide d'un corps de mesure, de la force exercée sur les tubes et les tiges internes.

Dans ce type d'essai de pénétration, le cône est enfoncé dans le sol au moyen de tubes d'acier munis de tiges internes. Les forces nécessaires à cet effet sont mesurées en haut des tubes et des tiges internes au moyen de dynamomètres (capteurs de force) électroniques.

Le CPT mécanique continu est caractérisé par le fait que, pendant la mesure, le cône reste dans la même position écartée tandis que les tubes et les tiges internes sont poussés ensemble en un même mouvement continu à une vitesse constante de  $\pm 2$  cm/sec.

Avant le début de l'essai de pénétration, le cône est écarté de quelques centimètres (voir position écartée sur l'illustration du CPT mécanique discontinu). Cette distance doit être suffisamment grande pour compenser la compression élastique des tiges internes afin que la force exercée sur le cône soit transmise entièrement par les tiges internes. Cette distance ne peut pas non plus être trop grande au point qu'aucune pression ne serait plus exercée sur les tubes (en fonction des appareils utilisés).

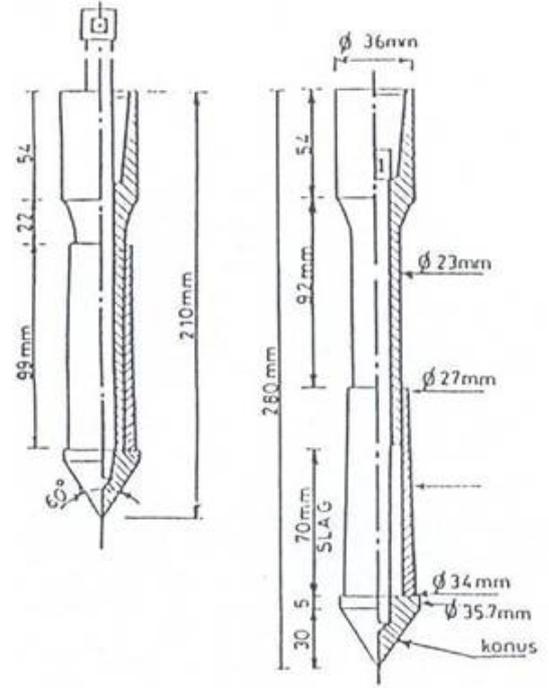
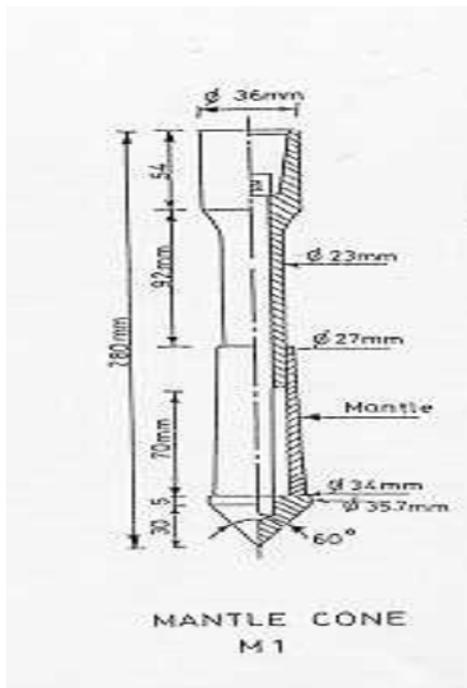
Les forces sont mesurées en continu en haut des tubes et des tiges internes pendant les opérations de sondage: la résistance de la pointe est mesurée par la force exercée sur les tiges internes et la résistance totale, par la force totale exercée sur les tubes et les tiges internes; on peut ainsi déduire la résistance de frottement latéral.

Si l'on rencontre des inclusions dures, on peut envisager de refermer le cône afin d'éviter le bris du matériel. A cet effet, on enlève une tige interne et, de ce fait, il n'est plus possible de transmettre de force au cône mais la pression est exercée uniquement sur les tubes. Le cône sera ainsi ramené contre les tubes extérieurs, ce qui permettra de pousser à la capacité maximale de l'appareillage CPT sans être limité à la résistance au cône. Quand les inclusions ont été perforées, la tige interne peut être remise dans les tubes de façon à obtenir une position du cône écartée, et l'on peut à nouveau exercer une force sur le cône. Pendant cette action, on ne peut mesurer que la résistance totale et l'on perd toutes les informations en rapport avec la résistance de la pointe et donc également sur le frottement latéral.

## Cône M1

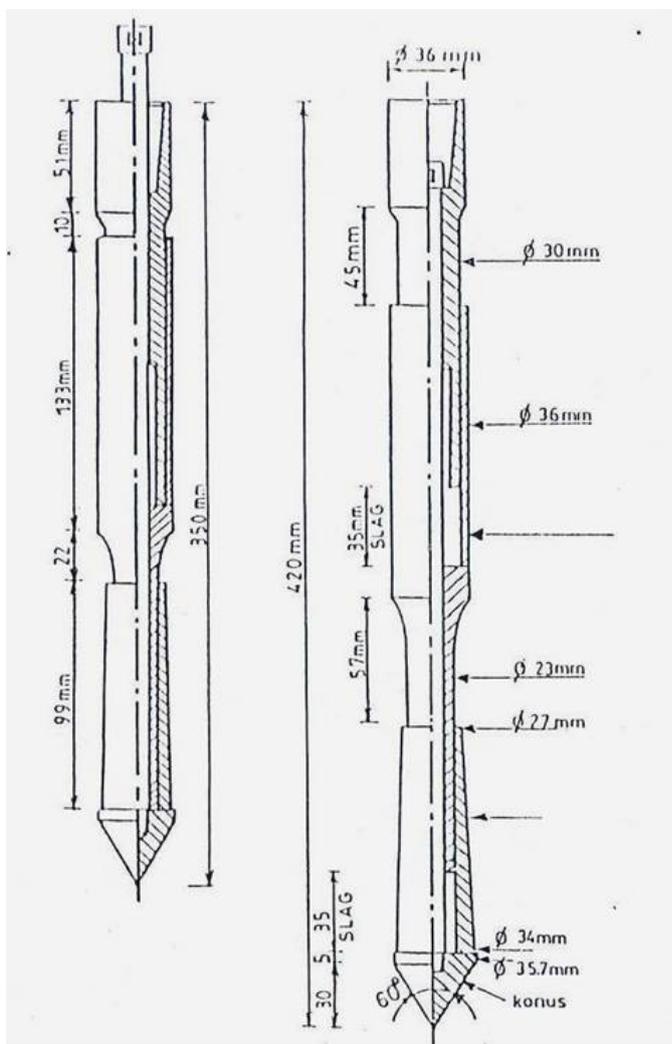
Dans le cas du cône M1, ou cône à manchon, la pointe du cône est prolongée par une extension conique (le manchon).

Lorsqu'on mesure la résistance au cône dans les couches d'argile fortement cohésives, un frottement est généré le long du manchon. Ce frottement est inclus dans la mesure de la résistance au cône et peut entraîner des résistances au cône jusqu'à 30% supérieures à celles rencontrées lors de sondages électriques.



## Cône M2

Le cône M2 ou à manchon de frottement, permet en plus, la mesure du frottement latéral local sur un manchon situé au-dessus du cône. Un système de cames situées sur la tige dans le cône permet d'enfoncer le cône seul sur une distance d'environ 3.5 cm, après quoi, le manchon de frottement est entraîné par le mouvement. La différence entre les deux mesures permet de déterminer la force (de frottement) exercée sur le manchon (kN). Le manchon de frottement a une superficie de 150 cm<sup>2</sup>. La pression unitaire exercée sur ce manchon s'appelle le frottement local  $f_s$  et est exprimée en kN/m<sup>2</sup> ou en kPa. La procédure de mesure se déroule également de manière à obtenir les valeurs des différents paramètres tous les 20 cm.



## Réducteur de frottement

L'emploi d'un **réducteur de frottement** réduit le frottement sur les tubes et permet ainsi d'atteindre une plus grande profondeur lorsque ce n'est pas la résistance au cône qui limite l'essai.

Le réducteur de frottement se compose d'un élargissement annulaire ou à ailettes du tube, placé à une certaine distance derrière le cône.

Afin de ne pas influencer la mesure de la résistance au cône et le frottement latéral local, les normes préconisent que le réducteur de frottement soit placé à 400 mm au moins derrière la pointe de sondage.



## **Catégories d'application des essais de pénétration**

### **CPT électriques**

La différence d'approche susmentionnée s'exprime surtout dans le choix des appareils de mesure (cônes) et dans la précision des mesures correspondante. Le texte de la norme reprend à cet égard 2 tableaux.

Le tableau 1 indique les 2 types de CPT considérés : les CPT électriques avec ou sans mesure de la pression interstitielle.

**Tableau 1 – Types d'essais de pénétration**

<b>Type d'essai de pénétration</b>	<b>Paramètre mesuré</b>
TE1	Résistance au cône et frottement local
TE2	Résistance au cône, frottement local et pression interstitielle

Le tableau 2 présente la catégorie d'application choisie, le type d'essai, la précision exigée et le pas de mesure. Le tableau "Catégories d'application" concerne surtout les paramètres à mesurer avec la précision de mesure demandée ainsi que les applications possibles des essais de pénétration.

La précision de mesure de la catégorie d'application 1, en particulier, a été voulue plus exigeante à la demande expresse des pays scandinaves. En Scandinavie, les essais de pénétration servent surtout de mesure spécialisée pour déterminer des paramètres au moyen de corrélations. Dans les autres pays, dont les Pays-Bas et la Belgique, l'essai de pénétration est généralement utilisé comme première méthode de mesure en vue d'établir un modèle global du sous-sol. C'est ce qui a été exprimé lors de l'établissement des précisions par catégorie. La catégorie d'application 1 impose une très grande précision et, de ce fait, ne sera utilisée, dans la pratique tant néerlandaise que belge, que pour des applications spécifiques. La pratique actuelle nous apprend que ce sont surtout des essais de pénétration des classes 2 et 3 qui sont demandés pour les conditions néerlandaises et belges.

Un nouvel aspect important est la colonne "utilisation" qui vise à simplifier le choix d'une catégorie d'essai de pénétration. Sur base du type de sol escompté sur le site et du mode d'interprétation, il est possible de poser un bon choix, quelle que soit la catégorie d'essai de pénétration nécessaire.

Dans la pratique actuelle, un même essai de pénétration est souvent mis en œuvre à toutes sortes de fins, des calculs de la force portante de pieux dans des strates de sable ferme aux corrélations dans des strates holocènes molles, par exemple. Pour les deux applications, il est judicieux d'effectuer des essais de pénétrations de différentes catégories d'application. Une précision de mesure de 200 kPa, p.ex. de la résistance au cône en cas de catégorie 3 ne fait pas une grande différence lors du calcul de la force portante des pieux dans des couches de sable de 10 MPa ou plus; par contre, les corrélations de la résistance au cône dans des couches molles à la même précision de mesure sont influencées de manière significative.

En outre, les mesures et précisions sont également influencées par la non-compensation des effets de la température pendant la mesure qui résultent du développement inégal de chaleur dans le cône par pénétration dans des couches de sol fermes à très fermes.

La précision de la mesure du frottement local est déterminée par les caractéristiques de l'instrument de mesure mais aussi par les tolérances dimensionnelles autorisées et la rugosité superficielle du manchon de frottement. La rugosité superficielle spécifiée dans la norme s'applique dès la fabrication du cône. L'acier, y compris l'acier trempé, est toujours sujet à l'usure, notamment dans les sables et, de ce fait, le manchon de frottement développe une "rugosité propre" en fonction de son utilisation.

**Tableau 2 – Catégories d'application**

Catégorie d'application	Type essai	Paramètre mesuré	Précision minimum autorisée <sup>a</sup>	Distance maximum entre mesures	Utilisation	
					Type de sol <sup>b</sup>	Interprétation <sup>c</sup>
1	TE 2	Résistance au cône Frottement latéral local Pression interstitielle Inclinaison Profondeur de sondage	35 kPa ou 5 % 5 kPa ou 10 % 10kPa ou 2 % 2° 0,1 m ou 1 %	20 mm	A	G, H
2	TE1 TE2	Résistance au cône Frottement latéral local Pression interstitielle Inclinaison Profondeur de sondage	100 kPa ou 5 % 15 kPa ou 15 % 25 kPa ou 3 % 2° 0,1 m ou 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	Résistance au cône Frottement latéral local Pression interstitielle <sup>d</sup> Inclinaison Longueur de sondage	200 kPa ou 5 % 25 kPa ou 15 % 50 kPa ou 5 % 5° 0,2 m ou 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	Résistance au cône Frottement latéral local Profondeur de sondage	500 kPa ou 5 % 50 kPa ou 20 % 0,2 m ou 2 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

NOTE Les sols extrêmement mous nécessitent parfois des précisions encore plus élevées.

<sup>a</sup> La précision minimum autorisée des paramètres mesurés est la plus grande des deux citées. La précision relative vaut pour la valeur mesurée et non pour la plage de mesures.

<sup>b</sup> Selon ISO 14688-2

A Sols homogènes constitués d'argiles très molles à raides et de limons/silts (typiquement  $q_c < 3$  MPa)

B Sols constitués d'une alternance d'argiles molles à raides (typiquement  $q_c \leq 3$  MPa) et de sables assez denses (typiquement  $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10$  MPa)

C Sols constitués d'une alternance d'argiles raides (typiquement  $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3$  MPa) et de sables très denses (typiquement  $q_c > 20$  MPa)

D Argiles raides à très raides (typiquement  $q_c \geq 3$  MPa) et sols grossiers très denses (typiquement  $q_c > 20$  MPa)

<sup>c</sup> G établissement du profil du sol et détermination du type de sol avec un faible niveau d'incertitude

G\*établissement indicatif du profil du sol et détermination du type de sol avec niveau élevé d'incertitude

H interprétation concernant les paramètres de calcul avec faible niveau d'incertitude

H\* interprétation indicative concernant les paramètres de calcul avec niveau élevé d'incertitude

<sup>d</sup> La pression interstitielle ne peut être mesurée que si l'on applique TE2.

## CPT mécaniques

Le texte de cette norme s'inspire de la même philosophie que pour les CPT électriques. Dans ce cas, également, 2 tableaux reprennent respectivement le type d'essai (tableau 3) et les catégories d'application (tableau 4).

Le tableau 3 diffère du tableau analogue relatif aux CPT électriques en ce sens que la distinction entre les différents types d'essais s'appuie non seulement sur les paramètres mesurés mais surtout sur la technique et la procédure utilisées pour les mesures.

En ce qui concerne la technique de mesure appliquée, nous pouvons citer, p.ex. la différence entre le relevé de valeurs manométriques et l'enregistrement par des capteurs électriques, qui évite les erreurs de relevé. Il en va de même pour la procédure de mesure appliquée, car le CPT mécanique continu implique une plus grande incertitude, pour une application correcte, que le sondage mécanique discontinu.

Comme il n'était pas possible de traduire ces incertitudes de mesure en précisions de mesure, l'option choisie a été d'associer la catégorie d'application au type d'essai (voir tableau 3).

En ce qui concerne la technique de mesure utilisée, on distingue 3 types:

- type a: manomètres qui mesurent les pressions hydrauliques générées par la force au sommet des tiges internes et, éventuellement, le frottement latéral local et la résistance totale à la pénétration;
- type b: capteurs électriques qui mesurent les pressions hydrauliques générées par la force au sommet des tiges internes et, éventuellement, le frottement latéral local et la résistance totale à la pénétration;
- type c: capteurs électriques qui mesurent directement les forces générées par la résistance au cône et, éventuellement, le frottement latéral local et la résistance totale à la pénétration.

Une distinction est encore établie, en ce qui concerne la procédure de mesure, entre le CPT mécanique continu et discontinu.

**Tableau 3 – Types d'essais de pénétration**

Type d'essai de pénétration	Paramètres mesurés	Techniques de mesures
TM1	Résistance au cône et résistance totale à la pénétration ou résistance au cône et frottement latéral local	Capteurs électriques (type c) – mesures discontinues
TM2	Résistance au cône et résistance totale à la pénétration ou résistance au cône et frottement latéral local	Manomètres ou capteurs électriques mesurant les pressions hydrauliques (types a et b) – mesures discontinues
TM3	Résistance au cône	Manomètres ou capteurs électriques qui mesurant les pressions hydrauliques (types a et b) – mesures discontinues
TM4	Résistance au cône	Manomètres ou capteurs électriques mesurant les pressions hydrauliques (types a et b) – mesures continues

Le tableau 4 indique, pour la catégorie d'application sélectionnée, le type d'essai, la précision exigée et l'intervalle de mesure; la numérotation des classes d'application correspond à la numérotation du tableau analogue relatif aux CPT électriques. En effet, les CPT mécaniques sont, en soi, moins précis que les CPT électriques, essai de référence pour les essais de pénétration. Dans certains cas (présence, dans le sous-sol, de pierres qui pourraient endommager le cône électrique), on procédera à des sondages mécaniques.

Lorsqu'il n'est pas possible d'établir une différence dans la précision de mesure pour les différentes techniques, les mêmes précisions de mesure seront imposées pour les catégories d'application définies. La différence entre les divers types d'essais se situe sur le plan de l'incertitude de mesure qu'impliquent la technique et la procédure de mesure (p.ex. CPT mécanique continu ou discontinu).

**Tableau 4 – Catégories d'application**

Catégorie d'application	Type essai	Précision minimum autorisée	Utilisation	
			Type de sol <sup>b</sup>	Interprétation <sup>c</sup>
5	TM1	$q_c$ 500 kPa ou 5 % $Q_t$ 1 kN ou 5 % $f_s$ 50 kPa ou 20 %	A	F
			B	G H*
			C	G H*
			D	G H*
6	TM2	$q_c$ 500 kPa ou 5 % $Q_t$ 1 kN ou 5 % $f_s$ 50 kPa ou 20 %	B	G H*
			C	G H*
			D	G H*
7	TM3 TM4	$q_c$ 500 kPa ou 5 % $Q_t$ 1 kN ou 5 %	B	F*
			C	F*
			D	

Catégorie d'application	Type essai	Précision minimum autorisée	Utilisation	
			Type de sol <sup>b</sup>	Interprétation <sup>c</sup>
<p>Les catégories d'application 5 à 7 s'appliquent aux CPT mécaniques et les catégories 1 à 4 aux CPT électriques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <p><b>La catégorie 5</b> est d'application pour la reconnaissance des sols non-homogènes, de types A à D. Pour les sols de type B à D, il est possible de déterminer la stratigraphie et le type de sol rencontré, et d'obtenir une interprétation à titre indicative des paramètres de dimensionnement. Pour les sols de très faible résistance (type A), seule la stratigraphie peut être déterminée. La définition du type de sol et l'interprétation des paramètres de dimensionnement ne sont possibles pour des sols de très faible résistance que dans le cas où des informations géologiques et géotechniques complémentaires et pertinentes sont également disponibles. Les essais de pénétration doivent être réalisés avec un équipement de sondage de type TM1.</p> <p>Remarque: les profils de sols stratifiés se rapportent à des stratigraphies dominées par des sols denses et raides, mais des couches molles peuvent également être présentes.</p> </li> <li> <p><b>La catégorie 6</b> est d'applications pour la reconnaissance de sols non-homogènes, avec des sols de types B à D, et permet la détermination de la stratigraphie et du type de sol. L'examen des couches de très faible résistance est limité par leur reconnaissance. Les essais de pénétration doivent être réalisés avec un équipement de sondage de type TM2.</p> </li> <li> <p><b>La catégorie 7</b> n'est d'application que pour une reconnaissance indicative de sols non-homogènes, de type B à D. Sur base de ces seuls résultats d'essais, aucune détermination du type de sol ni interprétation des paramètres de dimensionnement ne peut être obtenue. Les essais de pénétration doivent être réalisés avec un équipement de sondage de type TM3 ou TM4.</p> </li> </ul> <p>Bien que les essais de pénétration au cône électrique soient préférés aux essais de pénétration au cône mécanique, on peut toutefois opter pour ces derniers lorsque le risque se présente d'un endommagement du cône à cause p.ex. de matériaux de déchets, de pierres ou de roches.</p> <p>La précision de mesure qui peut être atteinte dépend également du frottement entre les tiges intérieures et les tubes de sondages. L'importance de l'erreur ainsi commise dépend entre autres de la longueur du sondage, de la force exercée sur les tiges intérieures, et de l'inclinaison du cône.</p>				
<p>A La précision minimum autorisée des paramètres mesurés est la plus grande des deux citées. La précision relative vaut pour la valeur mesurée et non pour la plage de mesures.</p> <p>b</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A Sols homogènes (typiquement <math>q_c &lt; 2</math> MPa)</li> <li>B Argiles, limons/silts et sables (typiquement <math>2 \text{ MPa} \leq q_c &lt; 4 \text{ MPa}</math>)</li> <li>C Argiles, limons/silts, sables et gravier (typiquement <math>4 \text{ MPa} \leq q_c &lt; 10 \text{ MPa}</math>)</li> <li>C Argiles, limons/silts, sables et gravier (typiquement <math>q_c &gt; 10 \text{ MPa}</math>)</li> </ul> <p>c</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>F Etablissement du profil du sol</li> <li>F Etablissement du profil du sol possible si des informations supplémentaires sont disponibles.</li> <li>G établissement du profil du sol et détermination du type de sol avec un faible niveau d'incertitude</li> <li>G*établissement du profil du sol et détermination du type de sol avec un faible niveau d'incertitude</li> <li>H interprétation concernant les paramètres de calcul avec faible niveau d'incertitude</li> <li>H* Interprétation concernant les paramètres de calcul avec niveau élevé d'incertitude</li> </ul>				

## Commentaire

### **Techniques pour augmenter la profondeur d'essai**

Quand il y a lieu de réaliser un essai dans des couches résistantes sous des couches peu résistantes, on placera des tubes de guidage (casings) dans les couches supérieures afin d'éviter le fléchissement des tubes de sondage.

La profondeur à laquelle les tubes de guidage ont été placés est indiquée par la lettre V sur le diagramme des résultats.

Si la capacité de poussée totale de l'appareil CPT est dépassée à la suite d'un frottement important sur les tubes, on peut prévoir un réducteur de frottement placé à une distance suffisante (min. 400 mm) derrière le cône. Le réducteur de frottement constitue un alourdissement local du tube de sondage, ce qui réduit le frottement sur le train de tubes suivant. La résistance au frottement latérale totale mesurée après le placement du réducteur de frottement n'est pas sujette à interprétation.

Pour augmenter la profondeur d'investigation dans des couches très résistantes, on applique la technique de récupération des tubes de sondage (indiquée par la lettre E sur les diagrammes de sondage).

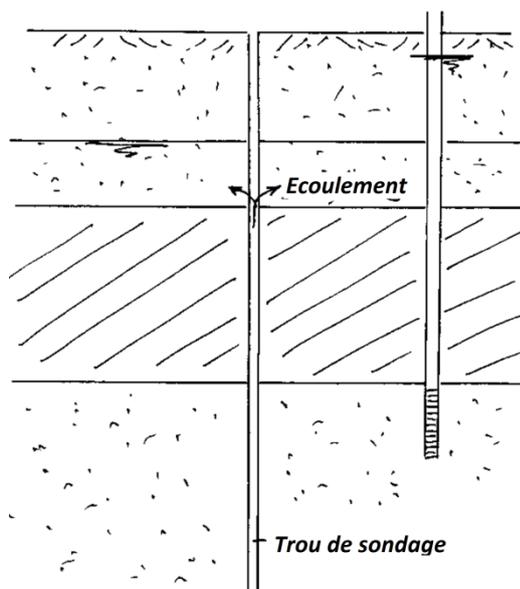
Pour investiguer à travers des niveaux très résistants (p.ex. des bancs de grès), on peut appliquer des techniques spéciales comme celle du marteau pneumatique ou le forage de la couche (indiqués par la lettre B sur le diagramme de résultat).

## Commentaire

### **Mesure du niveau d'eau dans un trou de sondage**

Après exécution de l'essai de pénétration, il est courant de mesurer le niveau d'eau dans le trou de sondage ou le niveau à partir duquel le trou de sondage s'est éboulé. L'attention est portée ici sur le fait que l'information déduite de ces mesures concernant le niveau d'eau dans le sol est purement indicative, et ceci pour plusieurs raisons:

- Lorsque plusieurs nappes sont présentes dans le sol, les informations obtenues à partir du trou de sondage ne concernent que la nappe la moins profonde. Aucune information ne peut être obtenue sur la présence éventuelle d'une autre nappe, plus profonde, avec un autre niveau d'eau ou un autre niveau de charge hydraulique. Une connexion peut s'établir entre les différentes couches via le trou de sondage, mais le niveau d'eau dans le trou de sondage est toujours déterminé par le niveau d'eau de la nappe supérieure (voir figure ci-dessous). Même si un écoulement peut prendre place d'une nappe inférieure vers la nappe supérieure via le trou de sondage, cet écoulement, limité, ne peut pas être de nature à influencer significativement le niveau d'eau de la nappe supérieure.



- Le niveau d'eau mesuré dans le trou de sondage correspond toujours à une observation ponctuelle. Aucune information n'est disponible quant aux possibles variations saisonnières du niveau d'eau. Aucune information n'est non plus disponible quant au fait que le niveau d'eau soit influencé par la marée ou par des rabattements en cours dans les environs.

Le niveau d'eau mesuré dans le trou de sondage après réalisation d'un essai de pénétration ne peut jamais être utilisé comme seule information pour la conception d'un rabattement ou le dimensionnement de constructions enterrées, Pour obtenir une information plus précise quant au niveau d'eau, il est nécessaire de toujours placer des piézomètres dans chacune des nappes susceptibles d'influencer le rabattement ou la construction, et de mesurer le niveau d'eau dans ces piézomètres de manière régulière et sur une période suffisamment longue, tel qu'expliqué dans les "directives pour le rabattement de la nappe".

## Conduites souterraines

Avant de commencer des essais de pénétration, il y a lieu de localiser les conduites souterraines éventuelles au droit du lieu d'exécution.

C'est pourquoi l'entreprise de reconnaissance géotechnique est tenue, lors de chaque nouvelle commande pour le site en question, de demander tous les plans de situation des conduites de distribution éventuellement présentes sur le portail KLIP ([www.klip.be](http://www.klip.be)). Cette obligation légale est prescrite dans le **DECRET KLIPP** flamand, publié au **Moniteur belge le 6 mai 2008**.

**Le fait de toucher ou de percer des conduites d'électricité ou de gaz peut en effet entraîner de graves calamités.**

Avant d'entamer les activités préparatoires relatives à la commande, l'entreprise de sondages doit étudier, en concertation avec le maître d'ouvrage, la possibilité de faire intervenir un entrepreneur pour réaliser les préfoilles préalables, afin de détecter les impétrants (conduites de distribution) éventuels et, au besoin, de les mettre à nu.

Lorsqu'il y a lieu d'effectuer des essais de pénétration à proximité de conduites de gaz et de conduites de service, il y a lieu de prendre les mesures de sécurité nécessaires mentionnées dans l'AR du 28 juin 1971, article 51: *Lorsque des travaux sont envisagés à proximité des canalisations et branchements de gaz par des tiers, ceux-ci doivent en informer, par lettre recommandée à la poste, les distributeurs de gaz intéressés, au moins quarante-huit heures d'avance et prendre les mesures nécessaires en vue de garantir la sécurité et la bonne conservation des installations de gaz. Cette information peut être remplacée par un accord permanent. Les travaux sont commencés de commun accord avec les autorités et les distributeurs de gaz intéressés. Des documents sont tenus, signalant les diverses interventions."*

Dans le contexte des exigences légales susmentionnées, l'entreprise de reconnaissance géotechnique prend contact au préalable avec les responsables des compagnies de gaz et fixe un rendez-vous pour une visite commune des lieux.

Les actions susmentionnées (un extrait de la demande de plans au KLIP, les contacts avec les sociétés de distribution et les rapports des visites des lieux avec les sociétés de distribution sont repris dans les rapports remis au maître d'ouvrage.