



Procédures standard pour la reconnaissance géotechnique:

DISPOSITIONS GENERALES

14 juillet 2016

Introduction

La création de ces *Procédures standard 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 géotechnique en Belgique. C'est à cet effet qu'a été créée la Task Force « Qualité d'investigation de sol » à l'initiative de Flor De Cock, alors président du GBMS. Maurice Bottiau, actuel président du GBMS a assuré la pérennité de celle-ci. Cette Task Force est pilotée par Gauthier Van Alboom.

Ces procédures standard font partie d'une série de procédures qui se déclineront comme suit :

- **Procédures standard pour la reconnaissance géotechnique : dispositions générales**
- **Procédures standard pour la reconnaissance géotechnique : essais de pénétration**
- **Procédures standard pour la reconnaissance géotechnique : forages et prises d'échantillons**
- **Procédures standard pour la reconnaissance géotechnique : essais en laboratoire**

Le présent document a été établi par le groupe de travail « reconnaissance géotechnique : dispositions générales » constitué au sein de la Task Force 2, qui compte les membres actifs suivants :

- Gauthier Van Alboom - président - (division Géotechnique – département Mobilité et Travaux publics (MOW)- Autorité flamande)
- Maurice Bottiau (Franki Foundations Belgium)
- Ilse Claessens (Sondex NV)
- Stefaan D'hoore (Adinco BVBA)
- Erwin Dupont (Fundex NV)
- Hilde Dupont (TUC Rail)
- Noël Huybrechts (Centre scientifique et technique de la Construction – CSTC)
- Stijn Huyghe (Antea Group)
- Hughes Legrain (INISMa - EMRA)
- Jan Maertens (Jan Maertens BVBA)
- Patrick Mengé (DEME)
- Mikaël Ramos da Silva (Fugro GeoConsulting)
- Kudret Sahin (Besix)
- Diederik Snoeck (Group Verbeke)
- Christian Trève (CFE)
- Van Den Broeck Marc (DEME)
- William Van Impe (AGE)
- Hannelore Van Kriekingem (SGS Belgium NV)
- Luc Verhelst (SGS Belgium NV)
- Anneleen Verhaegen (Advison bvba)
- Philippe Welter (Direction de la Géotechnique – Service Public de Wallonie)
- Géraldine Welvaert (GMA NV)

Le groupe de travail remercie également Flor De Cock (Geo.be BVBA) pour ses précieuses remarques et suggestions.

Structure du document

Ce document s'articule autour de 3 chapitres principaux et d'une série d'annexes.

- *Objet et domaine d'application*
- *Types de missions et rapports afférents + checklist*
- *Principes généraux pour la planification d'une investigation de sol*
- *Annexes*

1. Catégories géotechniques

2. Portée de l'investigation de sol par type de projet

- *GC2A*
 - *bâtiments*
- *GC2B*
 - *bâtiments*
 - *structures linéaires*
 - remblais*
 - excavations sous talus*
 - collecteurs et conduites*
 - passages souterrains*
 - forages dirigés*
 - tunnels*
 - murs de quais*
 - *soutènements*
 - *ponts*
 - *rabattements*

Commentaires

Objet et domaine d'application

Contexte global

Ce document reprend des principes généraux concernant la planification, l'exécution et la consignation des résultats de programmes d'essais géotechniques, complétés de directives concernant les analyses-types et accompagnés d'orientations et de quelques compléments d'information.

La formulation d'avis (y compris d'avis qualitatifs généraux) et la réalisation de calculs géotechniques sont mentionnées dans le type de missions mais ne seront pas traitées davantage dans le cadre du présent document.

Principes généraux pour la détermination d'une reconnaissance géotechnique

Pour déterminer des exigences minimales concernant l'ampleur et le type d'investigation de sol, il convient d'identifier la complexité de chaque projet géotechnique, y compris les risques associés.

Pour ce faire, on s'appuie sur la catégorie géotechnique (GC1 à GC3) du projet soumis à l'investigation de sol (à cet égard, nous renvoyons à l'annexe « Catégories géotechniques »). Par ailleurs, le mode d'exécution (prévoyant par exemple des rabattements) peut également influencer la catégorie géotechnique d'un projet.

Dans le cas d'ouvrages légers et simples et de petits travaux de terrassement, présentant un risque négligeable et relevant au maximum de la classe GC1, la consultation des sources d'information disponibles peut s'avérer suffisante. Des ouvrages et travaux de ce type ne tombent donc pas sous l'application de cette procédure.

Pour les constructions et les fondations conventionnelles ne présentant pas de risques exceptionnels et/ou de complexités au niveau de la nature de sol et des sollicitations subies, relevant de la classe GC2, un programme de reconnaissance géotechnique est établi, s'appuyant sur :

- les informations disponibles sur le plan géotechnique, géologique et hydrogéologique
- la nature du sol attendue, l'influence sur l'environnement, des paramètres constructifs déterminants (comme la hauteur des massifs de remblai), ...
- des directives qualitatives concernant la profondeur et le nombre d'essais

Le maître d'ouvrage a la possibilité de fixer un type de mission pour une reconnaissance géotechnique et la procédure de rapport y afférente (voir le tableau 1).

Par ailleurs, il est également possible d'associer un type de mission de reconnaissance géotechnique à une mission de dimensionnement géotechnique (voir le tableau 2). C'est par exemple le cas lors d'une investigation de sol préalable à la construction d'une habitation : dans ce cas, le maître d'ouvrage peut opter pour une investigation de sol de type G2 et un dimensionnement géotechnique de type D1.

Pour chaque type de mission, la qualification de l'auteur du rapport est spécifiée : géotechnicien ou expert en géotechnique. Les qualifications des géotechniciens et des experts en géotechnique sont associées à une inscription au Groupement Belge de Mécanique des Sols et de la Géotechnique (GBMS) et sont disponibles sur le site internet : <http://www.bggg-gbms.be>

Exigences normatives

Dans le contexte de la normalisation européenne, l'établissement et la réalisation de programmes d'essais géotechniques sont soumis à des exigences strictes.

À cet égard, la NBN EN 1997-2 déclare que des organisations, qui effectuent une reconnaissance géotechnique, doivent travailler selon un système d'assurance qualité : « *Un système d'assurance qualité approprié doit être 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 des reconnaissances et de leur évaluation* ».

Se conformer à un système de qualité (système propre, ou mieux encore : système de qualité accrédité par Belac conformément à l'ISO 17025) est indispensable.

Par ailleurs, des normes européennes et ISO spécifiques ont été élaborées et/ou sont en cours d'élaboration pour l'exécution d'essais géotechniques spécifiques sur le terrain et en laboratoire.

Types de missions et rapports afférents

Tableau 1: Types de missions pour une reconnaissance géotechnique

Type de mission	Contenu de la mission	Contenu du rapport	Qualification
G1	Réalisation de la reconnaissance géotechnique + rapport des résultats d'essai	Rapport reprenant les résultats d'essai et les valeurs directement déduites (par ex. : Friction Ratio issu des essais de pénétration)	Géotechnicien*
G2	Réalisation de la reconnaissance géotechnique + rapport des résultats d'essai + réalisation d'une étude de bureau + évaluation des résultats d'essai en fonction de la nécessité d'une analyse plus approfondie	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport d'essai reprenant les résultats d'essai et les valeurs directement déduites • Résultats des sources d'information consultées (essais, géologie, hydrogéologie) • Recommandations pour une analyse plus approfondie 	Géotechnicien*
G3	Mission de reconnaissance géotechnique globale <ul style="list-style-type: none"> • Étude de bureau • Planification et exécution de la reconnaissance géotechnique • Rapport des résultats d'essai • Évaluation de la reconnaissance géotechnique • Fixation des paramètres de base** 	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport d'essai reprenant les résultats d'essai et les valeurs directement déduites • Résultats des sources d'information consultées (essais, géologie, hydrogéologie) • Recommandations pour une analyse plus approfondie • Évaluation de synthèse de l'investigation de sol effectuée • Proposition de paramètres de base pour le projet 	Expert géotechnique*
G4	Essais de contrôle/Monitoring géotechnique : <ul style="list-style-type: none"> • Planification et exécution des essais de contrôle • Planification et exécution du monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> • Résultats des essais de contrôle • Résultats du monitoring 	Géotechnicien*

* les qualifications des géotechniciens sont encore différenciées par type d'essai (voir <http://www.bggg-gbms.be>)

** Paramètres de base

Les paramètres de base sont des valeurs-limites inférieures des caractéristiques géotechniques, s'inscrivant dans une approche sécuritaire du projet. Ces paramètres prennent en compte les limites potentielles (type et nombre d'essais) de l'investigation de sol et l'absence éventuelle d'un monitoring adéquat. Il ne s'agit dès lors que de valeurs uniquement indicatives pouvant être maintenues ou affinées dans l'étude de dimensionnement globale.

Les caractéristiques de frottement obtenues sur base des résultats des sondages, tels que présentés dans le tableau de l'ANB, sont des exemples de paramètres de base.

Tableau 2: Types de missions pour un dimensionnement géotechnique

Type de mission	Contenu de la mission	Contenu du rapport	Qualification
D1	Conseil géotechnique lors de la conception		
D1-1	Avis qualitatif général pour GC2A	Avis qualitatif sur les types de fondations possibles, faisabilité, points d'attention	Géotechnicien
D1-1	Avis qualitatif général pour GC2B et GC3	Avis qualitatif sur les types de fondations possibles, faisabilité, points d'attention	Expert géotechnique
D1-2	Avis de projet qualitatif et quantitatif général	D1-1 + calculs d'orientation soutenant l'avis qualitatif, faisabilité	Expert Géotechnique
D2	Dimensionnement géotechnique de la construction		Expert géotechnique°
D2-1		Dimensionnement des structures géotechniques	
D2-2		Établissement/soutien à l'élaboration des plans d'exécution et du cahier des charges	
D2-3		Formulation de propositions pour les contrôles et/ou le monitoring lors de l'exécution	
D3	Soutien géotechnique à l'exécution du projet		Expert géotechnique°
D3-1		Évaluation des propositions du type d'exécution et notes de calcul	
D3-2		Suivi de l'exécution (visites de chantier et discussions de chantier)	

D4	Démarrage et suivi du programme de monitoring	Résultats du monitoring et évaluation en fonction du projet à exécuter	Expert géotechnique°
D4-1	Monitoring passif	Monitoring pour suivre le comportement des constructions en contact avec le sol	
D4-2	Monitoring actif	Monitoring pour suivre, durant l'exécution, le comportement des constructions en contact avec le sol et pour corriger l'exécution	

Tableau 3: Détermination d'une checklist et exécution de la reconnaissance/du dimensionnement géotechnique

Mission	Applicable pour	Maître d'ouvrage*	Exécutant	À préciser
Infos générales concernant la mission				
Type de mission	tous	X		
Infos générales concernant l'ouvrage à ériger	D1, D2 et D3	X		
Consultation et rapport des infos géotechniques, géologiques, hydrogéologiques et historiques disponibles (étude de bureau)	G2 et G3		X	
Infos concernant les constructions historiques adjacentes	D1, D2, D3 et D4	X		
Lieu (commune, site) où les essais ont été réalisés	G1 à G4	X		
Plan avec la localisation des essais de préférence en coordonnées Lambert et muni de cotes en DNG	G1 à G4			X
Accessibilité et praticabilité des points d'investigation	G1 à G4	X		
Présence d'impétrants sur un terrain public	G1 à G4		X	
Présence d'impétrants sur un terrain privé	G1 à G4	X		
Historique du site (présence d'obstacles, nature des polluants, présence de déchets, ...)	G1 à G4	X		
Coordonnées de la personne de contact responsable de l'exécution	G1 à G4	X		
Infos spécifiques concernant les essais				
Type d'essais	G1 à G4	X		
Profondeur des essais de terrain	G1 à G4	X		
Données spécifiques concernant les essais en laboratoire	G1 à G4	X		
Nombre d'essais	G1 à G4	X		
Infos spécifiques concernant l'exécution des essais				
Lieux d'exécution des essais	G1 à G4		X	
Date de début des essais et planification	G1 à G4			X
Tracé des essais de terrain	G1 à G4			X
Relevé des points de sondage	G1 à G4			X
Rapport des résultats d'essai	G1 à G4		X	
Rapport sur la nécessité d'une analyse complémentaire	G2, G3		X	
Rapport de l'étude de bureau	G2, G3		X	
Fixation des paramètres de base	G3		X	

***Le commettant (maître d'ouvrage, architecte) peut déléguer tout ou une partie de sa mission à un bureau d'étude ou à un entrepreneur général.**

Principes généraux pour la planification d'une investigation de sol (études de bureau, types et nombre d'essais)

Pour déterminer l'investigation de sol à effectuer, il convient d'entreprendre les actions suivantes :

- Détermination de la catégorie géotechnique de l'ouvrage ;
- Étude de bureau : consultation des sources d'information : données géotechniques, données géologiques (y compris pour le Quaternaire), données de sol et des eaux souterraines, données historiques et l'historique du site, ...
- Choix du type d'essais : lié au(x) mécanisme(s) de rupture pertinent(s) de l'ouvrage et au type de sollicitation en présence ; pour les projets standard présentant un niveau de risque limité, la reconnaissance géotechnique peut par exemple se limiter à une étude de bureau et à des essais de pénétration ;
- Détermination du nombre d'essais : liée d'une part à l'hétérogénéité/l'homogénéité du sous-sol et d'autre part au niveau de risque que présente le projet.

L'étude de bureau comprend la consultation des informations géologiques et géotechniques disponibles. L'annexe informative spécifie le type de données pouvant être consultées.

Une étude de bureau sera complétée de préférence d'une reconnaissance de terrain.

La reconnaissance de terrain permet de détecter les remblais, les déversements (dépôts de déchets), les sols humides gorgés d'eau et la présence éventuelle d'inclusions pierreuses. Il y a lieu également de s'intéresser à l'état structural des ouvrages (présence de fissures) et les noms des rues peuvent déjà donner une indication de l'aptitude du sol attendu (rue du Marais, rue de l'Étang, rue des Tourbières, ...).

Essais de terrain

En ce qui concerne le type et la profondeur des essais, ceux-ci doivent être déterminés à partir de la nature locale du sol, la nature de l'ouvrage et la profondeur pertinente pour la détermination du comportement de l'ouvrage en termes de déformation. Les résultats des essais effectués dans les environs constituent des informations utiles à cet égard. Ces résultats peuvent donner une idée de la composition attendue du sous-sol et permettent d'effectuer une première évaluation de la profondeur.

Les essais de terrain préconisés sont les essais de pénétration et les forages (avec placement éventuel de piézomètres), d'autres essais pouvant par ailleurs être prévus (essais au pressiomètre, essais au scissomètre, essais géophysiques, ...) en fonction de la nature du sol et/ou du contexte.

Pour une explication générale sur le nombre et la plage de profondeurs des essais, on se reportera à l'Eurocode 7, partie 2.

Essais en laboratoire

En ce qui concerne le type d'essais, celui-ci doit être déterminé à partir de la qualité des échantillons disponibles, de la nature locale du sol, par la nature de l'ouvrage et par le mécanisme de

rupture et le comportement en déformation pertinents pour l'ouvrage concerné. Les résultats de l'étude de bureau (e.a. les essais, les observations effectuées dans le voisinage) constituent des informations utiles à cet égard. Ces résultats peuvent donner une idée de la composition attendue du sous-sol et permettent d'évaluer les paramètres géotechniques requis.

Les essais en laboratoire préconisés sont les essais d'identification, les essais triaxiaux, les essais de compression, etc., d'autres essais ou des essais supplémentaires pouvant par ailleurs être prévus en fonction de la nature du sol et/ou du contexte.

Pour une explication générale en matière d'essais à effectuer en laboratoire, on se reportera à l'Eurocode 7, partie 2.

Lignes directrices pour la planification d'une investigation de sol (types et nombre d'essais)

Les annexes ci-après présentent des lignes directrices pour la planification d'une investigation de sol. Ces directives sont un outil et ne sont, dans ce sens, pas formelles mais indicatives : le maître d'ouvrage est toujours tenu d'observer les principes généraux susmentionnés. À cet égard, la réalisation d'une étude de bureau revêt une importance essentielle.

Annexes

Information à consulter pour l'étude de bureau (annexe informative)

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 Historique du site Relief d'une zone de projet 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>

Catégories géotechniques

Principes généraux

Afin d'établir les exigences minimales relatives à l'ampleur et au type de reconnaissance géotechnique, de calculs et de contrôles d'exécution, la complexité de chaque dimensionnement géotechnique, y compris les risques associés, doit être identifiée. Cette responsabilité incombe au maître d'ouvrage.

Afin d'établir les exigences relatives au calcul géotechnique, trois catégories géotechniques (1, 2 et 3) ont été introduites dans le cadre de l'Eurocode 7 (pour plus d'informations, se reporter au paragraphe « Commentaires : Catégories géotechniques selon l'Eurocode 7 »). Cette annexe explique les catégories géotechniques dans le contexte belge (voir aussi ANB EC7).

Préalablement à l'investigation de sol, il convient d'effectuer une classification préliminaire de l'ouvrage au sein d'une catégorie géotechnique. Cette catégorie sera vérifiée et modifiée au besoin à chaque étape du dimensionnement et de l'exécution du projet. Ainsi, les résultats de l'investigation de sol pourront également indiquer la nécessité d'adapter la catégorie choisie.

Les procédures relevant de catégories plus élevées peuvent être appliquées pour justifier un dimensionnement plus économique ou lorsque l'auteur de projet les considère comme plus appropriées.

Les différents aspects du calcul d'un projet peuvent nécessiter des traitements correspondant à des catégories géotechniques différentes. Il n'est pas nécessaire de traiter la totalité d'un projet conformément à la plus élevée de ces catégories.

Catégories géotechniques GC1

La catégorie GC1 vise uniquement les ouvrages petits et relativement simples, présentant un risque négligeable. Il est à préciser que les habitations unifamiliales relèvent de la catégorie GC2A (voir plus loin).

Pour la catégorie GC1, l'investigation de sol peut se limiter à une inspection du terrain, à la consultation d'informations qualitatives concernant la nature du sol et, le cas échéant, à une description du sol en cas d'excavations.

Cette catégorie GC1 n'entre pas en considération dans le présent document.

Catégories géotechniques GC2

La catégorie géotechnique GC2 concerne les types d'ouvrages et de fondations conventionnels ne présentant pas de risque exceptionnel et/ou de nature du sol et de sollicitations complexes.

Les ouvrages de catégorie géotechnique 2 peuvent être soumis à des procédures de routine pour les essais de terrain et de laboratoire et pour le dimensionnement et l'exécution des travaux.

La pratique belge subdivise la catégorie GC2 en deux sous-catégories, GC2A et GC2B.

Cette subdivision s'explique par la présence, au sein de la catégorie GC2, d'ouvrages relativement simples comme les habitations unifamiliales (présentant donc l'obligation inhérente – bien que limitée – d'être soumises à une investigation de sol). Cependant, les exigences qu'il convient de poser à l'égard d'une telle investigation limitée ne sont pas du même ordre que celles associées à l'investigation de constructions courantes d'importance moyenne (comme les soutènements).

Distinction entre les catégories géotechniques GC2A et GC2B

GC2A : Habitations unifamiliales et bâtiments présentant une dimension et/ou des sollicitations limitées.

- Bâtiments comprenant 3 niveaux de construction maximum (en dehors des caves) et présentant une profondeur de déblai maximum de 2,8 m et une surface bâtie < 250 m²

L'investigation de sol préconisée concerne uniquement la réalisation de quelques essais de pénétration.

GC2B : Projets de moyenne et grande importance et/ou présentant des sollicitations élevées.

À cet égard, les annexes présentent des ouvrages conventionnels relevant de la catégorie géotechnique 2B (en indiquant les limitations qui y sont associées) :

- Bâtiments ne relevant pas de 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 quais
- Soutènements
- Ponts
- Rabattements

Catégories géotechniques GC3

La catégorie GC3 comprend tous les ouvrages géotechniques ne relevant ni de la catégorie GC1, ni de la catégorie GC2.

Cette catégorie géotechnique 3 concerne par exemple :

- les ouvrages de grande envergure ou inhabituels ;
- les ouvrages présentant des risques anormaux, des natures de sol ou des sollicitations inhabituelles ou exceptionnellement complexes ;
- les ouvrages érigés dans des zones fortement sismiques ;
- les ouvrages situés dans des zones présentant un sous-sol instable ou sujettes à des mouvements permanents de terrain, nécessitant une investigation particulière ou des mesures spéciales ;
- les ouvrages near shore.

L'investigation de sol comprend la reconnaissance standard pour la catégorie GC2 associée à des analyses spécifiques au projet (par ex. : monitoring étendu, analyse de la sismicité, ...) + mesures complémentaires lors de chaque phase du projet.

GC2A: bâtiments

Type d'essais : essais de pénétration (de préférence au cône électrique), éventuellement à remplacer ou à compléter par des forages en fonction de la nature du sol.

Profondeur des essais : En l'absence de données spécifiques, les essais de pénétration sont réalisés jusqu'à une capacité minimum de 100 kN ou jusqu'à une profondeur d'au moins 10 m si une force de pénétration totale de 100 kN n'a pas été atteinte plus tôt.

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, nécessitant éventuellement la réalisation d'une fondation sur pieux, une plus grande profondeur de sondage et/ou une capacité de pénétration plus élevée (200 kN) seront imposées.

On prévoira également une capacité de pénétration plus élevée si certains éléments indiquent la présence de couches très denses dans l'intervalle de profondeur à sonder ;

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche, concrétions...), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre.

Nombre d'essais:

Minimum 3 essais de pénétration par unité de construction, les projets de construction connexes peuvent déroger à cette règle moyennant la réalisation d'1 essai de pénétration minimum par 100 m².

GC2B: bâtiments

Type d'essais : essais de pénétration au cône électrique, éventuellement à remplacer ou à compléter par des forages en fonction de la nature du sol.

Profondeur des essais : En l'absence de données spécifiques, les essais de pénétration sont réalisés jusqu'à une capacité minimum de 200 kN ou jusqu'à une profondeur d'au moins 10 m si une force de pénétration totale de 200 kN n'a pas été atteinte plus tôt.

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, nécessitant éventuellement la réalisation d'une fondation sur pieux, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

Des techniques spéciales seront également prévues si certains éléments indiquent la présence de couches très denses dans l'intervalle de profondeur à sonder

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Nombre d'essais:

Par défaut, les constructions font l'objet d'1 essai de pénétration par 300 m², avec un minimum de 3. En cas de sols fortement hétérogènes (par ex. : présence de dépôts quaternaires jusqu'à une grande profondeur), il peut être recommandé d'accroître la densité de sondage à 1 par 150 m².

Pour les sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités) et pour les constructions basées sur des fondations bien distribuées (par ex. : entrepôts avec des colonnes largement réparties) ou les grands bâtiments de type « monovolume », la densité des essais peut être réduite, sous réserve d'une motivation bien fondée, à 1 pour 1000 m² mais en prévoyant toujours un minimum de 3 essais de pénétration.

GC2B: structures linéaires – remblais

Type d'essais: à déterminer sur base du score obtenu conformément aux critères repris dans les tableaux ci-dessous.

Hauteur du remblai	Score
2 – 5 m	1
De 5 à 10 m	2

Remarque: les remblais de plus de 10 m relèvent de la catégorie GC3, ceux de moins de 2 m sont repris dans la catégorie GC1.

Stratigraphie établie sur base de l'étude de bureau	Score
Stratigraphie homogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	1
Stratigraphie hétérogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	2
Stratigraphie hétérogène laissant présumer la présence de couches d'argile molles, de tourbe ou de remblais / ou composition des couches non connue	3

Sensibilité au tassement* du remblai	Score
Non sensible au tassement	0
Sensible au tassement	2

* L'évaluation de la sensibilité au tassement se fonde sur les exigences imposées par le maître d'ouvrage.

Distance par rapport à des ouvrages sensibles au tassement*	Score
< 5 m	3
5-10 m	2
10-20 m	1
> 20 m	0

* L'évaluation de la sensibilité au tassement se fonde sur les exigences imposées par le maître d'ouvrage.

Catégorie	Score	Type d'essais
Catégorie 1	< 4 points	Essais de pénétration / Essais de pénétration dynamique
Catégorie 2	≥ 4 points et < 8 points	Essais de pénétration + forages
Catégorie 3	≥ 8 points	Essais de pénétration + forages + essais en laboratoire (essais d'identification, essais de compression, essais triaxiaux...)

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $1,5 \times H$ (hauteur du remblai), avec un minimum de 10 m.
En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...
Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.
- Essais de pénétration dynamique
Les essais de pénétration dynamique sont réalisés jusqu'à une profondeur minimum de 5 m.
- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base des résultats de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

En règle générale, les dispositions suivantes sont d'application :

Essais de pénétration tous les 50 m par défaut ; pour les sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités), la densité des essais de pénétration peut être réduite, sous réserve d'une motivation bien fondée, à 1 pour 100 m.

Pour les essais de pénétration dynamique, on observe toujours un espacement maximum de 50 m.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 300 m.

GC2B : structures linéaires – excavations sous talus

Type d'essais: à déterminer sur base du score obtenu conformément aux critères repris dans les tableaux ci-dessous.

Profondeur des excavations	Score
< 2 m	0
≤ 5 m	1
De 5 à 10 m	2

Remarque : les excavations de plus de 10 m relèvent de la catégorie GC3, celles de moins de 2 m **au-dessus du niveau de la nappe phréatique** dans la catégorie GC1. Si les excavations doivent être effectuées à proximité de fondations existantes, il convient de prendre en compte les principes suivants : pour relever de la catégorie GC1, la profondeur d'excavation doit être inférieure ou égale à la distance par rapport aux fondations existantes.

Stratigraphie établie sur base de l'étude de bureau	Score
Stratigraphie homogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	1
Stratigraphie hétérogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	2
Stratigraphie hétérogène laissant présumer la présence de couches d'argile molles, de tourbe ou de remblais / ou composition des couches non connue	3

Distance par rapport à des ouvrages sensibles au tassement*	Score
< 5 m	3
5-10 m	2
10-20 m	1
> 20 m	0

* L'évaluation de la sensibilité au tassement se fonde sur les exigences imposées par le maître d'ouvrage.

Catégorie	Score	Type d'essais
Catégorie 1	< 4 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre
Catégorie 2	≥ 4 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre + essais en laboratoire (essais d'identification, essais de compression, essais triaxiaux...)

Si un rabattement est prévu, la pose des piézomètres est soumise aux recommandations reprises sous le point « rabattements ».

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times H$ (profondeur de l'excavation), avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Essais de pénétration tous les 50 m par défaut.

S'il n'y a pas lieu de prévoir de rabattement de la nappe phréatique ou alors de manière très limitée et, dans ce cas, en l'absence de bâtiments dans la zone d'influence du rabattement, les distances susmentionnées peuvent éventuellement être doublées.

Pour les sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités), la densité des essais de pénétration peut être réduite, sous réserve d'une motivation bien fondée, à 1 pour 100 m.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 300 m.

Conformément à ces prescriptions minimales concernant le nombre de forages, un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : structures linéaires – collecteurs et conduites

Type d'essais: essais de pénétration au cône électrique, forages avec prise d'échantillons et pose de piézomètres ; essais en laboratoire sur les éprouvettes de sol prélevées (essais d'identification).

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times H$ (H représente la profondeur du collecteur, de la conduite), avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Par défaut, des essais de pénétration sont prévus tous les 100 m.

En cas de sols fortement compressibles ou de bâtiments à moins de $2 \times$ la profondeur de tranchée, ces distances sont réduites de moitié.

En cas de sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités) et en cas d'assise à moins de 2 m sous le niveau de la nappe phréatique, les distances standard peuvent être doublées dans un premier temps pour les longs trajets.

Lorsqu'il s'avère que des soutènements ou des rabattements sont nécessaires localement ou sur toute la longueur du trajet, l'investigation de sol est adaptée/affinée conformément aux directives correspondantes.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 300 m.

Conformément à ces prescriptions minimales concernant le nombre de forages, un piézomètre est prévu pour 2 forages.

GC2B : structures linéaires – passages souterrains

Type d'essais: essais de pénétration au cône électrique, forages.

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times D$ (profondeur du passage souterrain), avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Essais de pénétration tous les 50 m par défaut, avec un minimum de 2.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 200 m.

Prévoir au minimum 2 essais de pénétration : 1 au droit de l'un des points d'entrée/de sortie et 1 au droit du point le plus profond du passage souterrain.

Conformément à ces prescriptions minimales concernant le nombre de forage, un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : structures linéaires – forages dirigés

Type d'essais : essais de pénétration au cône électrique, forages éventuellement complétés d'essais de laboratoire.

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur minimum de 5 m sous le point le plus profond du forage dirigé, avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

Les essais de terrain doivent être réalisés à une distance de 5 à 10 m par rapport au tracé prévu du forage dirigé, afin d'éviter que du liquide de forage ne cherche une voie d'évacuation vers l'extérieur à travers les trous de sondage ou de forage. Si la distance minimum de 5 m ne peut pas être respectée, les trous de forage concernés seront obturés au moyen d'argile gonflante.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

On procède à 2 essais de pénétration au minimum (au droit du point d'entrée et du point de sortie du forage dirigé).

Si les résultats des essais de pénétration diffèrent fortement entre le point d'entrée et le point de sortie ou en cas de longueurs de forage de plus de 60 mètres ou en cas de diamètre de conduite et/ou de diamètre enveloppe de plusieurs conduites de plus de 600 mm, il appartiendra à l'expert géotechnique du maître d'ouvrage d'évaluer la nécessité d'une investigation de sol supplémentaire.

La réalisation d'une investigation plus étendue fournira plus d'informations concernant la stratigraphie (couches perturbatrices, obstacles et autres), ce qui réduit les risques d'exécution.

L'investigation supplémentaire peut également inclure des forages. Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé.

Un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : structures linéaires – tunnels

Type d'essais: à déterminer sur base du score obtenu conformément aux critères repris dans les tableaux ci-dessous.

Profondeur du tunnel	Score
< 2 m	0
≤ 5 m	1
De 5 à 10 m	2

Remarque : les tunnels d'une profondeur supérieure à 10 m relèvent de la catégorie GC3.

Stratigraphie	Score
Stratigraphie homogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	1
Stratigraphie hétérogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	2
Stratigraphie hétérogène laissant présumer la présence de couches d'argile molles, de tourbe ou de remblais / ou composition des couches non connue	3

Sensibilité au tassement* du tunnel	Score
Non sensible au tassement	0
Sensible au tassement	2

* L'évaluation de la sensibilité au tassement se fonde sur les exigences imposées par le maître d'ouvrage.

Distance par rapport à des ouvrages sensibles au tassement*	Score
< 5 m	3
5-10 m	2
10-20 m	1
> 20 m	0

* L'évaluation de la sensibilité au tassement se fonde sur les exigences imposées par le maître d'ouvrage.

Catégorie	Score	Type d'essais
Catégorie 1	< 4 points	Essais de pénétration
Catégorie 2	≥ 4 points et < 8 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre
Catégorie 3	≥ 8 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre + essais en laboratoire (essais d'identification, essais de compression, essais triaxiaux...)

Si un rabattement est prévu, la pose des piézomètres est soumise par ailleurs aux recommandations reprises sous le point « rabattements ».

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times D$ (profondeur du tunnel), avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Essais de pénétration tous les 50 m par défaut.

S'il n'y a pas lieu de prévoir de rabattement de la nappe phréatique ou alors de manière très limitée et, dans ce cas, en l'absence de bâtiments dans la zone d'influence du rabattement, les distances susmentionnées peuvent éventuellement être doublées.

Pour les sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités), la densité des essais de pénétration peut être réduite, sous réserve d'une motivation bien fondée, à 1 pour 100 m.

Un essai de pénétration supplémentaire est prévu au droit de la station de pompage.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé. Prévoir au minimum 2 essais de pénétration : 1 au droit de l'un des points d'entrée/de sortie et 1 au droit du point le plus profond du tunnel.

GC2B : structures linéaires – murs de quais

Type d'essais : essais de pénétration au cône électrique, forages, essais en laboratoire.

Remarque: les murs de quais présentant une hauteur de soutènement supérieure à 15m tombent dans la catégorie GC3

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times H$ (hauteur à retenir), avec un minimum de 20 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Essais de pénétration tous les 50 m par défaut, avec un minimum de 2.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 200 m.

Conformément à ces prescriptions minimums concernant le nombre de forages, un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : soutènements

Hauteur à retenir	Score
< 2m	0
≤ 5 m	1
Entre 5 et 10/15 m	2

* Remarque : les soutènements d'une hauteur à retenir supérieure à 15 m au-dessus du niveau de la nappe phréatique relèvent de la catégorie GC3; pour les soutènements descendant plus bas que le niveau de la nappe phréatique, cette hauteur à retenir est limitée à 10 m.

Un soutènement relève de la catégorie GC1 si l'ensemble des conditions suivantes sont satisfaites :

- La hauteur maximum du soutènement ne dépasse pas 2 m.
- L'excavation ne descend pas sous le niveau de la nappe phréatique au repos.
- La distance par rapport aux ouvrages environnants et à la limite de propriété est supérieure à 5 m.
- La surface du sol est horizontale.

Stratigraphie	Score
Stratigraphie homogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	1
Stratigraphie hétérogène ne laissant pas présumer la présence de tourbe, de couches molles ou de remblais.	2
Stratigraphie hétérogène laissant présumer la présence de couches d'argile molles, de tourbe ou de remblais / ou composition des couches non connue	3

Distance par rapport à des ouvrages sensibles au tassement	Score
< 5m	3
5-10 m	2
10-20 m	1
> 20 m	0

Catégorie	Score	Type d'essais
Catégorie 1	< 4 points	Essais de pénétration
Catégorie 2	≥ 4 points et < 6 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre
Catégorie 3	≥ 6 points	Essais de pénétration + forages + piézomètre + essais en labo (essais de reconnaissance, essais de compression, essais de compression triaxiale, ...)

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT
Essais de pénétration jusqu'à une profondeur de $2 \times H$, avec un minimum de 10 m.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages
La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Pour des soutènements linéaires, on prévoit par défaut des essais de pénétration tous les 50 m, en cas de sols fortement homogènes (par ex. : couches tertiaires documentées, sans anomalies ni discontinuités), la densité des essais de pénétration peut être réduite, sous réserve d'une motivation bien fondée, à 1 pour 100 m.

Pour les fouilles, des essais de pénétration sont prévus selon un quadrillage de 25×25 m.

Le nombre de forages est déterminé sur base des résultats des essais de pénétration réalisés le long du tracé ; prévoir au minimum 1 forage par profil de sol caractéristique tous les 200 m.

Conformément à ces prescriptions minimums concernant le nombre de forages, un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : ponts

Type d'essais: essais de pénétration au cône électrique, éventuellement complétés de forages.

Profondeur des essais:

- Essais de pénétration au cône électrique CPT

En ce qui concerne la profondeur des essais, on peut affirmer que celle-ci est déterminée par la nature locale du sol, la nature de la structure du pont et la profondeur pertinente pour la détermination du comportement du pont en matière de déformation. Les résultats des essais effectués dans les environs constituent des informations utiles à cet égard. Ces résultats peuvent donner une idée de la composition attendue du sous-sol et permettent d'effectuer une évaluation de la profondeur requise.

En présence de formations dures à une profondeur limitée (par ex. : roche), l'investigation de sol réalisée au moyen d'essais de pénétration peut être complétée ou remplacée par des forages, des essais au pressiomètre...

Si des informations géologiques ou des résultats d'essais effectués dans les environs laissent supposer la présence de couches de faible résistance à plus grande profondeur, une plus grande profondeur de sondage sera imposée.

- Forages

La profondeur des forages est déterminée sur base de l'essai de pénétration correspondant, réalisé à une distance comprise entre 2 et 5 m.

Pour une explication générale concernant l'investigation de sol à effectuer, on se reportera à l'Eurocode 7.

Nombre d'essais:

Par point d'appui du pont, on effectuera au moins 1 essai de pénétration et de préférence 2.

Pour l'ensemble de la structure du pont, on prévoira au minimum 4 essais de pénétration.

Par défaut, les ponts fixes ne font pas l'objet de forages, ceux-ci n'étant effectués que dans des situations extrêmes en termes de sollicitations et/ou de nature du sol.

En cas de ponts mobiles, on prévoira toujours un forage au droit de la culée.

Conformément à ces prescriptions minimums concernant le nombre de forages, un piézomètre est prévu pour chacun de ces forages.

GC2B : rabattements

Si un rabattement est prévu, il convient d'observer des exigences supplémentaires, spécifiques selon le nombre de piézomètres.

Chaque rabattement se voit attribuer des scores différents en fonction de la stratigraphie, de l'aptitude à rabattre, de la hauteur de rabattement, de la présence de constructions dans les environs et de la durée du rabattement. La somme de ces points détermine de quelle catégorie le rabattement relève. Pour chacune d'elles, le type et le nombre d'essais qu'il convient d'effectuer au minimum ont été déterminés.

- Stratigraphie (sensibilité au tassement) : scores de 0 (risque le plus faible) à 4 (risque le plus élevé). Le risque est déterminé par la présence (établie ou soupçonnée) de tourbe, d'argile molle, de remblais, de nappe captive ou semi-captive.

0 = aucun de ces facteurs n'est présent

1 = présence ou soupçon de présence d'argile molle OU de remblais

2 = présence ou soupçon de présence d'argile molle ET de remblais

3 = présence ou soupçon de présence de nappe captive ou semi-captive, associée ou non à d'autres facteurs

4 = présence ou soupçon de présence de tourbe

- Aptitude au rabattement : scores de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

1 = formation aquifère très perméable

2 = formation aquifère peu perméable

3 = alternance de formations aquifères très perméables et peu perméables

NOTE : En réalité, c'est la transmissivité qui détermine la quantité d'eau pouvant être évacuée. La transmissivité ($l/s \cdot m$) est le produit de la perméabilité par l'épaisseur d'une couche. Par ex. : une couche mince hautement perméable et une couche plus épaisse à perméabilité plus faible peuvent présenter la même transmissivité.

- Hauteur de rabattement (définition présentée ci-après) : scores de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

1 = hauteur de rabattement < 3 m

2 = hauteur de rabattement de 3 à 6 m

3 = hauteur de rabattement > 6 m

- Risque de dégâts aux constructions environnantes : scores de 0 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

Pour les bâtiments normaux, on prévoit les scores suivants :

0 = absence de bâtiment dans un rayon d'1 km

1 = bâtiments dans un rayon compris entre 50 m et 1 km

2 = bâtiments dans un rayon compris entre 20 m et 50 m

3 = bâtiments dans un rayon inférieur à 20 m

Une cotation plus élevée peut être appliquée en fonction du type de bâtiment (immeuble à appartements, ancien bâtiment, ...). De même, pour de petits bâtiments présentant un faible risque ou pour des ouvrages érigés sur des fondations profondes, on peut utiliser une cotation inférieure voire même nulle.

NOTE : Pour la cotation, on peut s'inspirer par exemple du document « Meet- en beoorderingsrichtlijn 1 "Trillingen – Schade aan gebouwen" » publié par la Stichting Bouwresearch [10], qui répartit les ouvrages en différentes classes.
--

- Durée de rabattement : scores de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

1 = durée de rabattement \leq 2 mois

2 = durée de rabattement de 2 à 6 mois

3 = durée de rabattement de plus de 6 mois

Remarques générales :

Si cela se justifie, la valeur des facteurs peut aussi bien être augmentée que diminuée, par exemple :

- si on est certain au préalable qu'un écran peu perméable sera prévu ou qu'une réalimentation sera d'application, les valeurs des facteurs peuvent être ajustés en tenant compte de l'efficacité de ces dispositions,
- en cas de sols fortement hétérogènes, il est recommandé d'accorder des valeurs plus élevées.

En présence (supposée) de pollutions, il peut être recommandé, voire nécessaire, d'effectuer une investigation de sol plus vaste.

La catégorie de rabattement est alors déterminée par la somme des 5 valeurs obtenues :

Catégorie 0 : ≤ 5 points

Catégorie 1 : de 6 à 9 points

Catégorie 2 : de 10 à 12 points

Catégorie 3 : de 13 à 16 points

Nombre minimum de piézomètres en fonction de la catégorie des travaux à effectuer

L'investigation de sol prévue (voir ci-dessus) sera adaptée le cas échéant en fonction de la catégorie de rabattement à effectuer.

▪ Rabattement de catégorie 0 :

Pour un travail de rabattement de catégorie 0, au moins 1 piézomètre sera prévu par formation aquifère.

▪ Rabattement de catégorie 1 :

Le nombre de piézomètres dépend de l'ampleur de la superficie à rabattre : en cas de rabattements linéaires, on prévoira au min. 1 piézomètre tous les 200 m tandis qu'en cas de rabattements bidimensionnels, 1 piézomètre sera toujours prévu par surface de 2000 m² et par formation aquifère. Cependant, le nombre de piézomètres ne sera jamais inférieur au minimum minimorum (à savoir 1 par formation aquifère).

▪ Rabattement de catégorie 2 :

Le nombre de piézomètres sera déterminé par l'auteur de projet sur la base des résultats de l'étude préliminaire, mais ne sera jamais inférieur aux nombres en vigueur pour la catégorie 1.

▪ Rabattement de catégorie 3 :

Le nombre de piézomètres sera déterminé par l'auteur de projet sur la base des résultats de l'étude préliminaire, mais ne sera jamais inférieur aux nombres en vigueur pour la catégorie 2.

Notions et définitions

Les qualifications des géotechniciens et des experts en géotechnique sont fixées par le GBMS et seront définies par décision sur le site du GBMS.

Géotechnicien

*Assure l'élaboration de la reconnaissance géotechnique et présente les qualifications suivantes :
Se porte garant de l'établissement 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 <http://www.bggg-gbms.be>*

Expert 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 <http://www.bggg-gbms.be>

Sur le plan international, une série de normes européennes sont entrées en vigueur dans le domaine du génie civil.

Il s'agit en l'occurrence de la norme de dimensionnement Eurocode 0 (Bases de calcul des structures) et des Eurocodes 1 à 9, parmi lesquels l'Eurocode 7 qui décrit le « calcul géotechnique » d'ouvrages. Les autres normes abordent quant à elles les exigences fondamentales, les chargements, le dimensionnement des ouvrages en béton ou des ouvrages en autres matériaux.

L'Eurocode 7 « Calcul géotechnique » se décline en deux parties :

- Partie 1 – NBN-EN 1997-1:2005 – « Règles générales », dont quelques chapitres (3.2 à 3.4) sont consacrés à la « planification de reconnaissances géotechniques »
- Partie 2 – NBN-EN-1997-2:2007 – « Reconnaissance des terrains et essais », venant en appui du calcul géotechnique par les descriptions respectives des essais en laboratoire et des essais in situ.

Dans ce cadre, le comité technique européen CEN/TC341 élabore actuellement des normes européennes pour la réalisation des investigations et des mesures géotechniques, parmi lesquels l'investigation de sol. Le statut des normes relatives respectivement aux essais de pénétration à l'aide d'appareils électriques ou mécaniques se présente comme suit :

- « Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône » a été publié sous la forme de NBN EN ISO 22476-1-2012
- « Essais de pénétration statique au cône à pointe mécanique (CPTM) » a été publié sous la forme de la norme internationale NBN EN ISO 22476-12:2009.

“Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques” est publiée comme norme internationale NBN EN ISO 22475-1:2006.

Le statut de ces normes ainsi que celui d'autres normes d'essai géotechnique seront consultables via le site internet de l'Antenne Normes du CSTC.

Quelques extraits de la NBN EN 1997-1

Section 2 Bases du calcul géotechnique

2.1. Exigences de calcul

- 8) P Afin d'établir les exigences minimales relatives à l'ampleur et au contenu des reconnaissances géotechniques, des calculs et des contrôles d'exécution des travaux, la complexité de chaque étude géotechnique doit être identifiée, ainsi que les risques associés. En particulier, une distinction doit être faite entre :
- les ouvrages légers et simples ainsi que les petits travaux de terrassement pour lesquels il est possible d'assurer que les exigences minimales seront satisfaites avec un risque négligeable sur la base de l'expérience et de reconnaissances géotechniques qualitatives ;
 - les autres ouvrages géotechniques.
- NOTE: La manière dont ces exigences minimales sont satisfaites peut être indiquée dans l'Annexe nationale.
- (9) Pour les structures et les terrassements qui présentent une faible complexité géotechnique et un risque faible, au sens défini ci-dessus, l'utilisation de procédures de calcul simplifiées est admise.
- (10) Afin d'établir les exigences relatives au calcul géotechnique, trois catégories géotechniques (1, 2 et 3) peuvent être introduites.
- (11) Il convient normalement d'effectuer une classification préliminaire de l'ouvrage dans des catégories géotechniques avant le début des reconnaissances géotechniques. Il convient de vérifier et modifier si nécessaire cette catégorie à chaque étape du processus de conception et de construction.
- (12) Les procédures d'une catégorie plus élevée peuvent être utilisées pour justifier un projet plus économique ou lorsque le projeteur les considère comme plus appropriées.
- (13) Les différents aspects du calcul d'un projet peuvent nécessiter des traitements correspondant à des catégories géotechniques différentes. Il n'est pas nécessaire de traiter la totalité d'un projet conformément à la plus élevée de ces catégories.
- (14) La catégorie géotechnique **1** devrait seulement comprendre des ouvrages petits et relativement simples :
- pour lesquels il est possible d'admettre que les exigences fondamentales seront satisfaites en utilisant l'expérience et des reconnaissances géotechniques qualitatives ;
 - avec un risque négligeable.

- (15) Il convient de n'utiliser les procédures de la catégorie géotechnique 1 que lorsque le risque en matière de stabilité globale et de mouvements du terrain est négligeable et dans des conditions de terrain dont une expérience comparable locale a montré qu'elles sont suffisamment simples pour que des méthodes de routine puissent être utilisées pour le calcul et l'exécution des fondations.
- (16) Il convient de n'utiliser les procédures de la catégorie géotechnique 1 que s'il n'y a pas d'excavations prévues sous le toit de la nappe ou si une expérience comparable locale indique qu'une excavation prévue sous le niveau de la nappe peut être réalisée sans difficultés.
- (17) La catégorie géotechnique 2 devrait comprendre les types classiques d'ouvrages et de fondations qui ne présentent pas de risque exceptionnel ou des conditions de terrain ou de chargement difficiles.
- (18) Il convient normalement que les calculs des structures de la catégorie géotechnique 2 comportent des données géotechniques **quantitatives** et des calculs pour assurer que les exigences fondamentales sont satisfaites.
- (19) Des procédures de routine pour les essais en place et en laboratoire et pour la conception et l'exécution des travaux peuvent être utilisées pour les projets d'ouvrages de catégorie géotechnique 2.

NOTE Les ouvrages suivants sont des exemples de structures ou parties de structures qui entrent dans la catégorie géotechnique 2:

- fondations superficielles ;
 - fondations sur radiers ;
 - fondations sur pieux ;
 - murs et autres ouvrages de soutènement retenant du sol ou de l'eau ;
 - excavations ;
 - piles et culées de pont ;
 - remblais et terrassements ;
 - ancrages et autres systèmes de tirants ;
 - tunnels dans les roches dures non fracturées, sans conditions spéciales d'étanchéité ou autres exigences.
- (20) La catégorie géotechnique 3 devrait inclure les structures ou parties de structures qui sortent des catégories géotechniques 1 et 2.
- (21) La catégorie géotechnique 3 devrait normalement faire appel à des dispositions ou règles alternatives à celles de cette norme.

NOTE Cette catégorie géotechnique 3 comprend par exemple :

- les ouvrages très grands ou inhabituels ;
- les ouvrages impliquant des risques anormaux ou des conditions de terrain ou de chargement inusuelles ou exceptionnellement difficiles ;
- les ouvrages construits dans des zones très sismiques ;
- les ouvrages situés dans des zones sujettes à des instabilités ou des mouvements permanents du terrain qui nécessitent des reconnaissances séparées ou des mesures spéciales.

Section 3 Données géotechniques

3.2. Reconnaissances géotechniques

3.2.1. Généralités

- (2) P La consistance et le volume des reconnaissances géotechniques doivent être ajustés à la phase de reconnaissance en cours et à la catégorie géotechnique (voir EN 1997-2, Section 2).
- (3) Pour les ouvrages grands ou inusuels, les ouvrages mettant en jeu des risques anormaux ou inusuels et les ouvrages édifiés dans les zones très sismiques, il est possible que les reconnaissances géotechniques spécifiées dans la norme EN 1997 (*N.d.T.* : = *cat. 3*) ne suffisent pas pour satisfaire les exigences de calcul.
- (4) Si la nature et le volume des reconnaissances sont liés à la catégorie géotechnique de l'ouvrage, il est recommandé de déterminer le plus tôt possible les conditions de terrain qui peuvent influencer le choix de cette catégorie géotechnique.

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

4.2. Surveillance

4.2.2. Inspection et contrôle

- (2) Pour la catégorie géotechnique 1, le programme de surveillance peut être limité à une inspection visuelle, à des contrôles de qualité simples et à une estimation qualitative du comportement de l'ouvrage.
- (3) Pour la catégorie géotechnique 2, il convient souvent de faire des mesures des propriétés du terrain et du comportement des ouvrages.
- (4) Pour la catégorie géotechnique 3, il convient normalement de faire des mesures complémentaires au cours de chacune des étapes importantes de la construction.

4.3. Vérification de l'état des terrains

4.3.1. Sols et roches

- (2) Pour la catégorie géotechnique 1, il convient de vérifier les descriptions des sols et des roches par :
 - l'inspection du site ;
 - la détermination des types de sols et de roches dans la zone d'influence de l'ouvrage ;
 - le relevé des descriptions des sols et des roches découvertes dans les excavations.
- (3) Pour la catégorie géotechnique 2, il convient également de vérifier les propriétés géotechniques des sols et des roches dans ou sur lesquels reposent les ouvrages. Des reconnaissances complémentaires in situ peuvent être nécessaires. Il convient de prélever des échantillons représentatifs pour des essais afin de déterminer leurs propriétés d'identification, leur résistance et leur déformabilité.

- (4) Pour la **catégorie géotechnique 3**, il convient aussi d'exiger des reconnaissances supplémentaires et l'examen de certains aspects de l'état des terrains ou des remblais qui pourraient avoir une conséquence majeure pour le dimensionnement.

4.3.2. Eaux souterraines

- (3) Pour la catégorie géotechnique 1, les vérifications sont habituellement fondées sur des rapports d'expériences antérieures dans la région ou sur des signes indirects.
- (4) Pour les catégories géotechniques 2 et 3, il convient normalement d'effectuer des observations directes de l'eau souterraine si celle-ci affecte particulièrement la méthode de construction ou le comportement de l'ouvrage.

4.4. Contrôle de l'exécution des travaux

- (4) Pour la catégorie géotechnique 1, un programme formel d'exécution n'est normalement pas inclus dans le rapport de dimensionnement géotechnique.

NOTE Le phasage de l'exécution des travaux est normalement fixé par l'entreprise.

- (5) Pour les catégories géotechniques 2 et 3, le rapport de dimensionnement géotechnique peut donner le phasage de l'exécution des travaux envisagé dans le calcul.

NOTE Le rapport de dimensionnement géotechnique peut aussi indiquer que le phasage de l'exécution doit être décidé par l'entreprise.

4.5. Instrumentation et suivi (surveillance de l'ouvrage)

- (8) Pour la catégorie géotechnique 1, l'évaluation du comportement (*N.d.T. : de l'ouvrage*) peut être simple, qualitative et s'appuyer sur des inspections visuelles.
- (9) Pour la catégorie géotechnique 2, l'évaluation du comportement peut être fondée sur la mesure des mouvements de quelques points choisis de l'ouvrage.
- (10) Pour la catégorie géotechnique 3, il convient normalement d'évaluer le comportement sur la base de mesures de déplacement et d'analyses qui tiennent compte du phasage d'exécution des travaux.

Section 5 Remblais, rabattement de nappe, amélioration et renforcement des terrains

5.3. Construction des remblais

5.3.2. Choix du matériau de remblai

- (8) Pour la catégorie géotechnique 1, l'inspection visuelle du matériau peut souvent suffire.

Conduites souterraines

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

C'est pourquoi l'exécutant est tenu, lors de chaque nouvelle mission pour le site concerné, de demander tous les plans de situation des conduites de distribution éventuellement présentes sur le portail KLIP (www.klip.be). Cette obligation légale est décrite dans le **DÉCRET KLIP**, publié au **Moniteur belge le 6 mai 2008**.

Toucher ou percer des conduites d'électricité ou de gaz peut en effet entraîner de graves calamités.

Avant d'entamer les activités préparatoires à la mission, l'exécutant est tenu d'examiner, en concertation avec le maître d'ouvrage, la possibilité de faire appel à un entrepreneur pour la réalisation des préfourilles, 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, de forage ou autres sondages à proximité de conduites de gaz et de conduites de service, il convient de prendre les mesures de sécurité voulues 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'exécutant des essais prend contact au préalable avec les responsables des sociétés 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 reprises dans les rapports remis au maître d'ouvrage.