

SYNTEC INGENIERIE

COMMISSION GEOTECHNIQUE

GUIDE A L'USAGE DE LA PROFESSION
POUR L'EVALUATION DES MISSIONS GEOTECHNIQUES
G2 – G4

Sous la Présidence de Jean-Claude GRESS, HYDROGEOTECHNIQUE

Ont participé à l'élaboration de ce guide :

- *Jean-Michel ALBA* *Sol Essais*
- *Olivier BARNOUD* *Géotechnique Ile de France*
- *Gérard BAUDRY* *Fondouest*
- *Pascal CHASSAGNE* *Alios*
- *Yves GUERPILLON* *Egis Géotechnique*
- *Bruno PHILIPONNAT* *Sogéo Expert*
- *Jacques POUDEVIGNE* *Fugro*
- *Jacques ROBERT* *Arcadis*

SOMMAIRE

1. PREAMBULE.....	3
2. APPROCHE 1 PONDERATION DU MONTANT DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES	5
2.1. COEFFICIENT C DE COMPLEXITE DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES POUR LE BATIMENT, LE GENIE CIVIL ET LES INFRASTRUCTURES	6
2.2. COEFFICIENT G DE COMPLEXITE LIE LA NATURE PARTICULIERE DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE	11
2.3. COEFFICIENT N DE COMPLEXITE HYDROGEOLOGIQUE	15
2.4. COEFFICIENT Z DE COMPLEXITE TOPOGRAPHIQUE ET DE ZIG	16
2.5. COEFFICIENT S DE COMPLEXITE LIE AU RISQUE SISMIQUE.....	17
2.6. COEFFICIENT T DE PONDERATION LIE AU COUT DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES	17
2.7. REPARTITION ENTRE LA MISSION G2 ET LA MISSION G4	19
3. APPROCHE 2	20

1. PREAMBULE

Afin de limiter la sinistralité dans le domaine de la construction des bâtiments, ouvrages de génie civil et infrastructures, la norme 94500 a permis de bien structurer les missions géotechniques, en faisant apparaître l'intérêt de la nécessaire progressivité des études, chaque mission permettant de répondre à une étape de mise au point, puis de réalisation du projet.

Par contre, il est apparu à la profession des géotechniciens, que certaines missions étaient difficiles à chiffrer.

Conscient de cette difficulté, le comité géotechnique du Syntec propose dans ce guide, une base de réflexion permettant d'évaluer le coût des missions de projet géotechnique G2 et de supervision géotechnique G4, en laissant au géotechnicien le choix des paramètres multiples intervenant dans son chiffrage.

Trois approches sont proposées :

Approche 1

Elle consiste à évaluer les missions par rapport au montant prévisionnel de l'ensemble des ouvrages géotechniques, en pondérant le montant par :

1. des coefficients intégrant la complexité :
 - de réalisation des ouvrages géotechniques,
 - du contexte géologique et géotechnique,
 - des conditions hydrogéologiques de nappes,
 - de la ZIG* et du contexte topographique,
 - du risque sismique,

* ZIG : Zone d'Influence Géotechnique

2. un taux de pondération fonction du montant de l'ensemble des ouvrages géotechnique.

Approche 2

Elle décompose pour chaque ouvrage géotechnique élémentaire et pour chaque mission, les temps passés par profil des personnes travaillant à la mission, en intégrant pour chaque profil les temps passés par prestations, en journée, celle-ci étant valorisée par un prix journalier pondéré par le coefficient d'efficacité du profil concerné.

Approche 3

Elle intègre le risque particulier de certaines missions et leurs hauts niveaux de technologie en rémunérant aussi la prise de risque en relation avec les valeurs particulières de l'ouvrage et de sa ZIG, ainsi que l'investissement technologique de l'entité.

Le Comité Géotechnique considère que c'est l'approche 1 qui est la plus normale.

2. APPROCHE 1

PONDERATION DU MONTANT DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

La mission G2 de projet géotechnique et la mission G4 de supervision géotechnique, auxquelles il est fait référence ici, ne peuvent être partielles.

La réduction du risque de sinistre n'est effective que dans le cadre de mission G2 et G4 bien comprises et donc complètes.

Des missions partielles seront nécessairement qualifiées de missions G5 de diagnostic géotechnique, mais elles ne permettront pas la vision globale du projet géotechnique et laisseront la voie à des oublis toujours dommageables.

La relation proposée pour estimer le montant de la rémunération globale de l'ensemble des missions G2 et G4, en n'incluant pas les prestations spécifiques d'investigations géotechniques spécifiques à ces missions, est :

$$M = C G N Z S \times T \times P$$

où :

P est le montant estimé de l'ensemble des ouvrages géotechniques du projet,

C est le coefficient de complexité moyen de l'ensemble des ouvrages géotechniques,

G est le coefficient de complexité lié à la nature particulière du contexte géologique et géotechnique,

N est le coefficient de complexité lié aux conditions hydrogéologiques de nappes,

Z est le coefficient de complexité lié à la topographie et à la ZIG,

S est le coefficient de complexité lié à la prise en compte du risque sismique,

T est un taux de pondération fonction du montant de l'ensemble des ouvrages géotechniques.

Les différentes valeurs des coefficients de pondération sont proposées ci-après.

2.1. Coefficient C de complexité de l'ensemble des ouvrages géotechniques pour le bâtiment, le génie civil et les infrastructures

Le tableau ci-après propose d'affecter à chaque sous ouvrage un coefficient de complexité.

Le coefficient de complexité moyen résulte alors, de la pondération de chacun de ces coefficients, en attribuant un poids p_i % à chaque sous ouvrage.

$$C = \sum_i p_i \% \times C_i$$

Classe	Ouvrages géotechniques	Coefficient de complexité Ci				
		1	1.1	1.2	1.3	1.4
1	Consolidation des sols (préchargement, compactage grande épaisseur, inclusions, injections)					
2	Rabattement de nappe, voiles d'étanchéité					
3	Sujétions de terrassement	Meubles	Défonçable	Explosif		
4	Etude stabilité talus de déblais					
5	Etude de soutènements					
6	Etude de réemploi des déblais					
7	Etude de traitement aux liants					
8	Etude stabilité talus de remblais					
9	Reprises en sous oeuvre					
10	Fondations superficielles					
11	Fondations profondes					
12	Couches de forme sous dallages et voiries					
13	Dallages fortement chargé					
14	Dispositions spécifiques pour les digues et barrages					
15	Tranchées ouvertes pour pose réseaux (blindage, lit de pose)					
16	Travaux sans tranchées, galeries $\varnothing < 2500$ mm					
17	Tunnels galeries > 2500 mm					

Les ouvrages géotechniques de classe 1 intègrent toutes les techniques de la consolidation des sols :

- ▶▶ par préchargement statique,
- ▶▶ par compactage en grande épaisseur par pilonnage intensif, vibroflottation, vibration de tubes ou palplanches, injection solide, ...

- ▶▶ par mise en œuvre d'inclusions (colonnes ballastées, picots, colonnes à module contrôlé, ...),
- ▶▶ par injections de remplissage de cavités.

Le rabattement de classe 2 va du rabattement de fond de fouille par une base drainante au rabattement par aiguilles filtrantes, drains ou puits pompés, drains subhorizontaux, tranchées ou parois drainantes.

Dans les dispositions de rabattement, peuvent être intégrées des dispositions d'étanchéité par voiles.

Les sujétions de terrassement de classe 3 sont en relation avec la catégorie du sol à extraire :

catégorie 1 meuble

catégorie 2 défonçable au ripper ou au BRH

catégorie 3 nécessitant l'explosif ou des techniques équivalentes

catégorie 4 sols complexes car amalgamant les catégories 1 et 3

Dans la classe 3, rentre l'étude de vérification des seuils de vibration admissibles.

La classe 4 d'étude de stabilité des déblais comporte la modélisation de profils caractéristiques à justifier en déformation et en sécurité par rapport à la rupture pour différentes hypothèses de nappe.

La justification des dispositions de confortement et de soutènement, si nécessaires, se fait en classe 5.

La classe 5 des soutènements comporte les soutènements par éléments modulaires, par murs BA, par parois (berlinoise, parisienne, moscovites, moulées), pieux jointifs, sans ou avec tirants d'ancrage, murs cloutés.

La justification de ces soutènements doit se faire à toute étape de l'avancement des terrassements.

La classe 6 d'étude de réemploi des déblais définit pour chaque catégorie des sols, leurs conditions de réemploi en fonction des conditions météorologiques et de leur destination ou leur mise en dépôt.

La caractérisation de la pollution éventuelle des sols n'est pas prévue.

La classe 7 d'étude de traitement aux liants comporte l'étude des possibilités de traitement de certains matériaux aux liants (chaux, liants hydrauliques routiers mélange, chaux ciment) en fonction de leur destination, conformément au GTS.

La classe 8 d'étude de stabilité des remblais comporte :

- ▶ la définition de la préparation de l'assise des remblais,
- ▶ celle de la nature et du compactage des matériaux constitutifs des remblais,
- ▶ l'évaluation des tassements y compris ceux induits et leur évolution dans le temps,
- ▶ la définition des dispositions d'allègements éventuels.

Le chapitre des reprises en sous-œuvre de classe 9 définit les modalités de reprise en sous-œuvre de constructions mitoyennes ou de constructions existantes soumises à pathologies ou faisant l'objet d'un approfondissement intérieur des sous-sols.

Les techniques courantes sont massifs ou semelles filantes en fouilles blindées, micropieux, pieux forcés, jet grouting.

Le chapitre de classe 10 des fondations superficielles définit les types, les niveaux d'assise, les capacités portantes et justifie des tassements en intégrant l'effet de groupe. Il développe les sujétions d'exécution.

Eventuellement, il justifie de substitutions nécessaires des sols en nature, épaisseur et compactage.

Le chapitre de classe 11 des fondations profondes définit les types, fiches, capacités portantes, tassements des pieux, développe les effets de groupe en capacité portante, tassement et analyse les efforts parasites éventuels (frottements négatifs, poussées horizontales), en développant les dispositions constructives qu'ils impliquent et les sujétions de réalisation.

Le chapitre 12 des couches de forme sous dallages et voiries définit l'épaisseur, la nature et le niveau de compactage des couches de forme au regard d'objectifs de réception.

Le chapitre 13 développe l'analyse du comportement du complexe charges dallage - couche de forme - sol de fondation en terme de déformations à attendre pour différents cas de charge donnés par le maître de l'ouvrage.

Le chapitre 14 définit les dispositions spécifiques à envisager pour les digues et les barrages à savoir : type d'étanchéité (noyau, voile, géomembrane, bêche amont avec tranchée), tapis drainant aval, galerie drainante, étude hydraulique de justification.

Le chapitre 15 concerne les tranchées pour pose de réseaux.

Les conditions d'extraction et de réemploi ayant fait l'objet des chapitres 3, 6 et 7, il concerne la définition des techniques de blindage en relation avec le jeu du lit de pose conçu en base drainante.

Il justifie des conditions de non boulangement, non renard et non soulèvement.

Le chapitre 16 concerne les travaux sans tranchées et galeries d'un diamètre inférieur à 2500 mm.

Il définit les conditions de réalisation et développe les sujétions spécifiques liées au contexte particulier et au type d'exécution : méthode de creusement, de soutènement, disposition de contrôle.

Le chapitre 17 concerne les tunnels et galeries d'un diamètre supérieur à 2500 mm.

Il développe les mêmes chapitres que le 16, mais en les adaptant à un diamètre supérieur à 2500 mm.

2.2. Coefficient G de complexité lié la nature particulière du contexte géologique et géotechnique

Le coefficient G est une pondération de coefficient partiels Gi affectés d'un poids pi %

	Type	Coefficient de complexité Gi		1	1.1	1.2	1.3	
	Remblais	1.1	inertes					
1.2		évolutifs	1.2.1	e < 2m				
			1.2.2	e > 2m				
1.3		gonflants	1.3.1	e < 2m				
			1.3.2	e > 2m				
1.4		à combustion spontanée ou générée	1.4.1	e < 2m				
			1.4.2	e > 2m				
1.5	à dégagements gazeux							
Sols	2.1	inertes						
	2.2	gonflant ou à retrait	2.2.1	e < 2m				
			2.2.2	e > 2m				
	2.3	à risques glissements	2.3.1	e < 2m				
			2.3.2	e > 2m				
	2.4	à boules ou gros blocs						
	2.5	compressibles et affaisables	2.5.1	e < 2m				
			2.5.2	e > 2m				
2.6	liquéfiables	2.6.1	e < 2m					
		2.6.2	e > 2m					
2.7	à dégagements gazeux							
Roches	2.8	inertes						
	2.9	évolutives						
	2.1	à potentiel gonflement						
	2.11	solubles						
	2.12	à risques de vides anthropiques						
	2.13	à risque karstiques						
	2.14	à dégagements gazeux						

- 1.1 Les remblais inertes sont constitués de produits non évolutifs (ils comportent alors en général des produits de démolition, hors plâtre, bois), des déchets de carrière ou mines (hors charbon), schistes houillers), des mises en dépôts de déblais de terrassements (hors racines, branches, souches) et des déchets industriels (hors chaux et autres déchets à potentiel de gonflement).
- 1.2 Les remblais évolutifs comportent des matériaux organiques (bois, paille, racines, tourbe) ou des matériaux à perte au feu élevée (papier, carton).
- 1.3 Les remblais gonflants sont soit des matériaux de déblais issus de sols (argiles très plastiques) ou roches (schistes carton, marnes) à potentiel de gonflement naturel, soit des déchets industriels (par exemple résidus de fonderie) ou des produits de démolition (plâtre par exemple).
- 1.4 Les remblais à risques de combustion peuvent être constitués de schistes houillers pour lesquels, soit une combustion spontanée est possible au contact de l'air, soit une combustion générée par exemple par des dépôts ultérieurs de matériaux incandescents.
- 1.5 Les remblais à risques de dégagements gazeux sont par exemple les dépôts dans lesquels une putréfaction de matériaux organiques peut s'établir.
- 2.1 Les sols inertes sont réputés être ceux n'appartenant pas aux catégories 2.2 à 2.7.
- 2.2 Les sols gonflants ou à risques de retrait sont les matériaux dont la nature est très plastique et particulièrement sensible à des variations de volume en relation à des variations de teneurs en eau (en général A3 A4, B6, C1A3, C1A4, C1B6, et R34 au sens du GTR). Quand ils font plus de 2m, les sujétions d'adaptation seront plus difficiles.

- 2.3 Après excavation, les sols présentent des risques de glissement en situation de déblais et de présence de nappe. Ici, la catégorie 2.3 fait référence aux sols dont il est reconnu d'entrée, une tendance à l'"instabilité" naturelle par les cartes à risques (ZERMOS). Quand ces sols font plus de 2m d'épaisseur, les dispositions confortatives seront lourdes.
- 2.4 Certaines roches par altération ou par éboulement génèrent des sols constitués de très gros blocs et d'une matrice argilo-caillouteuse ou sablo-caillouteuse. Ce sont les boules de granite au dessus du granite, les blocs de calcaires au dessus du calcaire karstique, les pierriers rocheux en pied de falaise. Ces contextes très hétérogènes demandent des dispositions particulières de fondation.
- 2.5 Les sols compressibles sont constitués de vases, de tourbes ou limons tourbeux, de limons plus ou moins organiques d'origines alluviales ou colluviales (produits de lessivage de pente). Dans cette catégorie, se rangent les loëss affaissables (loëss donc la cimentation carbonatée peut leur donner une portance fragile) pouvant disparaître par infiltration d'eau, vibrations ou charges. Les dispositions constructives deviennent lourdes au-delà de 2m d'épaisseur.
- 2.6 Les sols liquéfiables sont constitués par des sols lâches, silteux ou sableux, aquifères, pouvant se liquéfier sous vibrations. Les dispositions constructives deviennent lourdes au-delà de 2m d'épaisseur.
- 2.7 Les sols à dégagements gazeux sont en général des sols renfermant des déchets organiques, lesquels génèrent des dégagements gazeux de type méthane.
- 2.8 Les roches inertes ne rentrent pas dans les catégories 2.9 à 2.14.

- 2.9 Les rochers évolutifs renferment ici les roches qui, sous contraintes, évoluent par exemple comme la craie soumise à de fortes contraintes.
- 2.10 Les roches à potentiel de gonflement peuvent exprimer ce potentiel soit par variation de contrainte à la décharge (marnes, schistes), soit par réaction chimique (schistes carton).
- 2.11 Les roches solubles sont constituées par les roches salines type gypse, anhydrite, pouvant se dissoudre rapidement par infiltration d'eaux non saturées en sels de même type.
- 2.12 Les roches à risques de vides anthropiques sont constituées de rocher ayant fait l'objet d'une extraction à des fins d'exploitation des matériaux extraits : craie, calcaires, schistes houillers etc...
- 2.13 Les roches à risques karstiques sont constituées de roches ayant naturellement évolué par le réseau des discontinuités (fissures, diaclases, discontinuités) en sol, celui-ci ayant été éventuellement déplacé par les eaux d'infiltration.
- 2.14 Les roches à dégagement gazeux sont essentiellement les roches granitiques avec risque de dégagement de radon.

2.3. Coefficient N de complexité hydrogéologique

Classe	Coefficient de complexité N	1	1.1	1.2	1.3
1.1	Pas de nappe				
1.2	Nappe libre Aquifère peu perméable				
1.3	Nappe libre Aquifère perméable				
1.4	Nappe profonde artésienne				

La classe 1.2 correspond à la présence d'une nappe libre, caractérisée dans des sols de perméabilité faible $< 5 \times 10^{-6}$ m/s pouvant souvent être gérée par la jeu de bases drainantes et de masques ou éperons.

La classe 1.2 correspond à la présence d'une nappe libre dans des sols dont la perméabilité est supérieure à 5×10^{-6} m/s. Ces cas demandent une étude hydrodynamique pour justifier les solutions éventuellement de rabattement de nappe par puits ou drains pompes ou aiguilles filtrantes.

La classe 1.4 de nappe profonde artésienne demande une étude hydrodynamique pour justifier d'une solution de base drainante seule, avec étude de débit et du risque de soulèvement, de boullance et de renard ou de solution de rabattement profond.

2.4. Coefficient Z de complexité topographique et de ZIG

Classe	Coefficient de complexité Z	1	1.1	1.2	1.3	1.4
1.1	Terrain plat sans constructions mitoyennes					
1.2	Terrain plat avec constructions mitoyennes					
1.3	Terrain en pente $p < 20 \%$					
1.4	Terrain en pente $20 \% < p$					

La classe 1.2 correspond à un terrain plat mais avec constructions mitoyennes ; elle implique une étude d'interaction avec les mitoyens.

La classe 1.3 correspond à un terrain en pente, de pente inférieure à 20 %. Elle demande une attention particulière vis-à-vis de la stabilité de la pente, soit par l'effet déstabilisateur pour le versant amont, de fouilles éventuelles, soit par l'effet déstabilisateur sur le versant aval, par la charge des ouvrages.

Enfin, la classe 1.4 traite des mêmes sujétions que la classe 1.3 mais avec des difficultés augmentées par la pente forte du terrain.

2.5. Coefficient S de complexité lié au risque sismique

Classe	Coefficient de complexité S	1	1.1	1.2
1.1	Pas sismique			
1.2	Sismique			

Dans les zones à risque sismique de classe 1.2, la sismicité du site implique des études détaillées de risques de liquéfaction et l'interaction dynamique sol structure en phase de séisme.

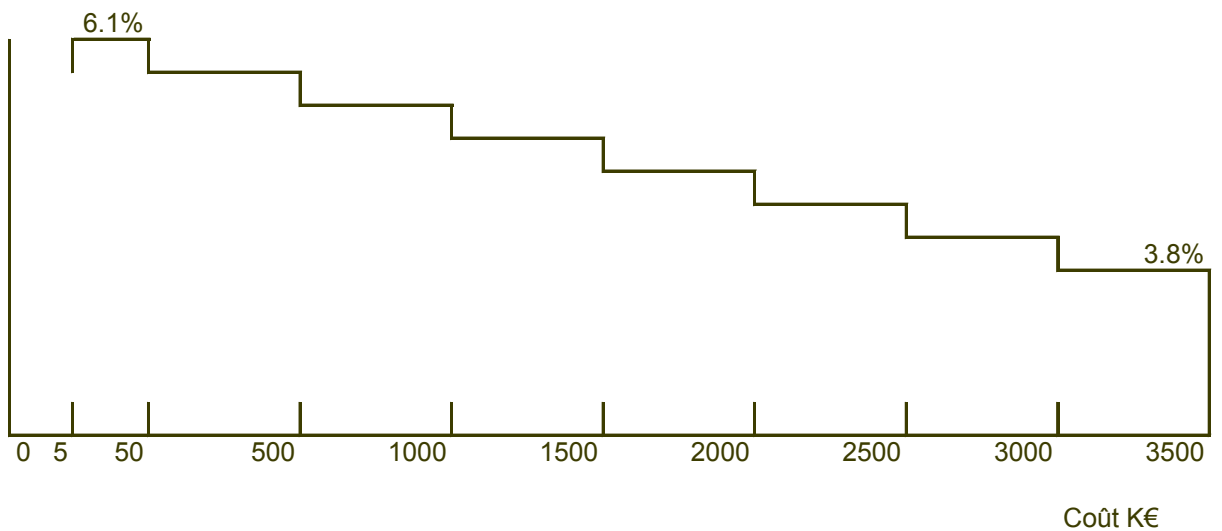
2.6. Coefficient T de pondération lié au coût des ouvrages géotechniques

Montant de l'ouvrage géotechnique	Taux de pondération T (en %)
< 50 K€	Non significatif = voir approche 2
50 K€ < P < 500 K€	6.1
500 K€ < P < 1000 K€	5.75
1000 K€ < P < 1500 K€	5.4
1500 K€ < P < 2000 K€	5.05
2000 K€ < P < 2500 K€	4.7
2500 K€ < P < 3000 K€	4.35
3000 K€ < P < 3500 K€	4

En fonction du coût de l'ouvrage, la pondération suivante est proposée.

Cette production sous-entend que pour un ouvrage géotechnique donné, la masse des études en volume n'est pas proportionnelle au coût de l'ouvrage, mais diminue avec ce coût suivant une loi :

$$T \% = 6.6 - 0.08 \times \frac{\text{coût K euro}}{100}$$



2.7. Répartition entre la mission G2 et la mission G4

Le taux global est ensuite décomposé en taux partiel en fonction des différentes phases des missions, comme proposé dans le tableau ci-après :

Mission	Phase	Prestation	Pourcentage
Etude géotechnique de projet G2	Projet	Etudes techniques (hors reconnaissances). Avant métré Estimatif Planning	42%
	DCE	Participation à l'établissement du CCTP Etablissements des plans de principe des ouvrages. Participation à l'analyse des offres et	21%
		Sous-total G2	63%
Supervision géotechnique d'exécution		Vise des documents d'exécution de la mission G3 de l'entrepreneur	8%
		Supervision de l'exécution des travaux des ouvrages géotechniques	26%
		Assistance aux opérations de réception des ouvrages géotechniques	3%
		Sous-total G4	37%
		Ensemble	100%

Cette répartition peut être différente par exemple pour des missions type injection de consolidation où la phase de suivi observationnel peut être plus lourde que la phase conception.

A noter que pour une supervision géotechnique qui suit une G2 que n'a pas réalisée le géotechnicien de la G4, il faut que celui-ci rajoute un poste de 8 % de validation de la G2 de son confrère, sous réserve que ce ne soit bien qu'une validation et que toute la mission ne soit pas à reprendre.

S'il est nécessaire de réaliser dans le cadre de la mission G4 des contre calculs, ceux-ci feront l'objet d'une évaluation particulière.

3. APPROCHE 2

Cette approche est une vérification de l'approche 1, ou elle remplace l'approche 1 pour des ouvrages géotechniques d'un montant < 50 K€.

Cette approche consiste à évaluer pour chaque tâche le temps passé par les différents participants à l'étude sur les bases d'un prix de vente à la journée des intervenants, pondéré par un taux d'efficacité fonction du niveau de l'intervenant.

		La journée	Taux d'efficacité
Ingénieurs	Junior < 3 ans	450 – 550 €	1
	Confirme 3 à 5 ans	550 – 680 €	1.5
	Sénior 5 à 15 ans	680 – 840 €	2
	En chef > 15 ans	840 – 1200 €	3
Techniciens	1 ^{er} niveau	300 – 360 €	1
	2 ^{ème} niveau	360 – 450 €	1
Secrétaire		300 – 360 €	1

Cette méthode est délicate car l'expérience montre qu'il est difficile de quantifier le volume global de temps passé, celui-ci étant discontinu.

Paris, le 04.05.2009

Le Comité Géotechnique de Syntec