ACCOTEC

BUREAU
D'INGENIERIE D'ÉTUDES ET DE CONSEILS

Mécanique des sols, Hydrogéologie
Environnement et Pollution
Adaptation aux sites
Géotechnique

SOFFONS

LES PLATES-FORMES DE TRAVAIL EN MATERIAUX GRANULAIRES POUR ENGINS SUR CHENILLES

1ère ébauche d'une règle professionnelle

COMITÉ DE RÉDACTION :

B.E. ACCOTEC : Monsieur JUILLIÉ
Monsieur SIMONNOT

SOLÉTANCHE BACHY : Monsieur MONLEAU
Monsieur SCHMITT

SCREG : Monsieur BRISSAUD

SEPTEMBRE 2009

VOLET GEOTECHNIQUE

Table des matières

I - GENERALITES

- I.1 - Définition
- I.2 - Préambule
- I.3 - Objectifs
- I.4 - Séquence des tâches nécessaires à la validation d'une plate-forme de travail
- I.5 - Définition des cas à étudier

II - INTERVENANTS ET ROLES DANS L'ELABORATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

- II.1 - Le maître d'ouvrage
- II.2 - Le bureau d'études géotechniques
- II.3 - Le maître d'œuvre de conception
- II.4 - L'entreprise constructeur de la plate-forme de travail
- II.5 - L'entreprise utilisatrice de la plate-forme de travail
- II.6 - Autres intervenants

III - ETAPES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

- III.1 - Diagnostic géotechnique
- III.2 - Evaluation préliminaire
- III.3 - Vérification de la portance du sol
- III.4 - Cas de charge
- III.5 - Evaluation secondaire
- III.6 - Couche de roulement
- III.7 - Conception de la couche de renforcement
- III.8 - Mise en œuvre de la couche de renforcement
- III.9 - Réception de la plate-forme de travail

IV - DEFINITION ET CONSISTANCE DES ETUDES GEOTECHNIQUES

- IV.1 - Inventaire des aléas
- IV.2 - Détermination de la profondeur d'investigation
- IV.3 - Nature des essais à réaliser et fréquence

..../....

V - CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

V.1 - Généralités
V.2 - Les trois composantes de qu
V.3 - Coefficients de sécurité
V.4 - Résistance ultime du sol "quS"
V.5 - Résistance au poinçonnement de la couche de renforcement - quF
V.6 - Résistance du géosynthétique - T_G
V.7 - Calcul d'optimisation

VI - VERIFICATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

VI.1 - Réception
VI.2 - Entretien

ANNEXES :

N°1 : Symboles, définitions et unités

N°2 : Fiches d'évaluation

N°3 : Fiche de calcul

N°4 : Consignes particulières

N°5 : Normes et règlement

N°6 : Missions géotechniques

N°7 : Couche de renforcement

I - GENERALITES

I.1 - Définition

La plate-forme de travail (y compris les pistes d'accès) est constituée par une couche de renforcement (*) ou par le terrain naturel, capable de supporter le trafic et le travail des engins lourds de façon pérenne et sécurisée pendant la durée du contrat de l'entreprise utilisatrice.

(*) le terme "couche de renforcement" a été choisi pour ne pas la confondre avec la "couche de forme" qui supporte des ouvrages et qui est soumise à des critères de dimensionnement plus stricts.

I.2 - Préambule

Le présent document doit permettre dans un premier temps d'améliorer la sécurité sur les chantiers et permettre un travail dans de bonnes conditions. Il reste à ce stade un document pratique qui se veut simple d'utilisation.

Il devra probablement à terme être complété pour devenir normatif et opposable à tous les intervenants, utilisateurs de la plate-forme, maître d'œuvre concepteur de la plate-forme et entreprise chargée de l'entretien. Il devra également, à terme, être visé par un contrôleur S.P.S. et partie intégrante du P.G.C.. Il devra également être visé par le géotechnicien concepteur et le contrôleur technique.

I.3 - Objectifs

Les objectifs de ces règles sont d'assurer la sécurité de tous les engins lourds sur chenilles en condition de travail extrême ou de déplacement sur une plate-forme. Sa conception doit donc être assurée par une série d'investigations, de calculs et de contrôles qui sont exposés dans ce document. La démarche qui y est exposée doit donc être suivie dans tous ces aspects.

I.4 - Séquence des tâches nécessaires à la validation de plate-forme de travail

Les différentes étapes à franchir pour aboutir à la validation finale de la plate-forme de travail par tous les intervenants sont exposées au paragraphe III. Ces étapes sont imbriquées dans toutes les phases de la conception du projet, depuis l'avant-projet jusqu'à la réception.

Les prestations d'études et de construction de la plate-forme de travail devront donc être intégrées par le maître d'œuvre dans le C.C.T.P. et le descriptif des travaux.

I.5 - Définition des cas à étudier

Chaque entreprise utilisatrice doit pouvoir intervenir sur la conception de la plate-forme de travail au regard des engins qu'elle utilise. Seuls les cas de charge les plus contraignants devront être retenus. La version SOFFONS concerne les engins sur chenilles de 200 à 2 000 kN exerçant une pression au sol variant de 100 à 1 000 kPa.

N.B. : Les engins sur chenilles utilisés par les entreprises du SOFFONS sont parmi les plus lourds de ceux intervenants sur le chantier. On peut donc admettre que cette plate-forme de travail pourra servir ultérieurement à d'autres engins et donc être soumise à d'autres critères.

II - INTERVENANTS ET ROLE DANS L'ELABORATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

A chaque intervenant incombe une responsabilité dans l'élaboration de la plate-forme de travail.

II.1 - Le maître d'ouvrage

Il a la responsabilité du terrain à construire, des aléas et risques afférents. Il est généralement le commanditaire de la première étude géotechnique, de l'étude d'avant-projet (G12) nécessaire (mais généralement pas suffisante) à l'élaboration du projet et des prescriptions constructives. Cette étude doit permettre d'établir des préconisations préliminaires sur les ouvrages provisoires tels que la plate-forme de travail (P.F.T.). L'étude géotechnique de projet (mission G2) est également normalement à la charge du maître d'ouvrage et inclue dans les prestations du maître d'œuvre ou du contractant général.

II.2 - Le bureau d'études géotechniques

Il peut intervenir à la demande du maître d'ouvrage directement, et dans ce cas, devra obtenir un maximum de renseignements sur le projet et anticiper les différentes phases de travaux pouvant nécessiter des ouvrages spécifiques (telle qu'une plate-forme de travail).

L'étude d'avant projet (mission G12) doit collecter suffisamment de données géotechniques pour permettre un prédimensionnement de la plate-forme de travail qui se fera dans le cadre d'une étude géotechnique de projet (mission G2). Cette étude donne les grandes lignes des prescriptions constructives. Elle est utilisée ultérieurement dans la phase de diagnostic géotechnique (mission G5 voir paragraphe IV) par l'entreprise constructeur de la plate-forme qui doit décider si l'étude est suffisante ou non.

II.3 - Le maître d'œuvre de conception

C'est à lui qu'incombe la préparation de la liste exhaustive de tous travaux, ouvrages provisoires et études nécessaires à la construction. A ce titre, il doit prévoir les plates-formes de travail en fonction du type de travaux et d'engins utilisés. Il fera procéder à l'étude géotechnique de projet (mission G2) en tenant compte des éléments de l'étude d'avant-projet. Il devra vérifier en accord avec le géotechnicien et les entreprises utilisatrices :

- l'étendue des plates-formes de travail par rapport au projet de construction,
- la fréquence et la profondeur des essais géotechniques,
- la nature des matériaux constitutifs des futures plates-formes,
- les caractéristiques des engins utilisés.

Il devra faire compléter les études pour permettre une conception de la plate-forme de travail conforme aux règles de l'art.

N.B. : pour des chantiers de taille importante exécutés en conception réalisation, c'est l'entreprise spécialiste qui doit concevoir et réaliser sa propre plate-forme de travail.

II.4 - L'entreprise constructeur de la plate-forme de travail

Deux cas peuvent se présenter :

- la plate-forme de travail est à la charge du donneur d'ordre et elle est intégrée dans le lot particulier (travaux préparatoires, terrassement…) et construite selon les directives du C.C.T.P.. En principe, l'entreprise n'a de responsabilité que l'objectif de résultats en terme de :
    - qualité des matériaux mis en œuvre,
    - épaisseur de la couche de renforcement,
    - compacité et portance.
- la plate-forme de travail est à la charge de l'entreprise utilisatrice. Dans ce cas, elle doit en assurer la conception et la bonne exécution ou la sous-traiter selon un cahier des charges précis.

Elle doit s'assurer de la qualité de la plate-forme de travail, la faire valider le cas échéant par le géotechnicien, le bureau de contrôle, le contrôleur S.P.S..

II.5 - L'entreprise utilisatrice de la plate-forme de travail

Il lui incombe de réceptionner la plate-forme de travail (P.F.T.). Elle assiste donc aux essais de réception réalisés contradictoirement.

II.6 - Autres intervenants

D'autres intervenants sont possibles pour les phases de diagnostic et de conception, tels que le B.E. V.R.D., services des carrières, des mines, services techniques de Mairie, concessionnaires divers, etc.... Ils seront consultés au stade de l'avant projet par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre.

N.B. : La sous-traitance d'une mission complète à un B.E. géotechnique ou pluridisciplinaire est "un plus" pour assurer une cohérence au projet et permet de ne pas diluer les responsabilités.

III - ETAPES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

La séquence logique de conception de la plate-forme de travail est présentée sous forme d'un organigramme de tâches page suivante.

III.1 - Diagnostic géotechnique

Cette mission, classée G5 dans la norme NF P 94-500 révisée en décembre 2006, permet d'évaluer les aléas et risques associés aux contextes géotechniques et préciser les paramètres de portance caractérisant le sol support (c_u, ø, p_{LM}, q_c, q_d, etc....).
Si les paramètres sont insuffisants en nombre ou qualité, elle devra être complétée par une étude spécifique (étude de projet – mission G2). Elle est détaillée dans le paragraphe IV.

III.2 - Evaluation préliminaire

Cette phase permet de valider la séquence logique de conception avec trois cas :

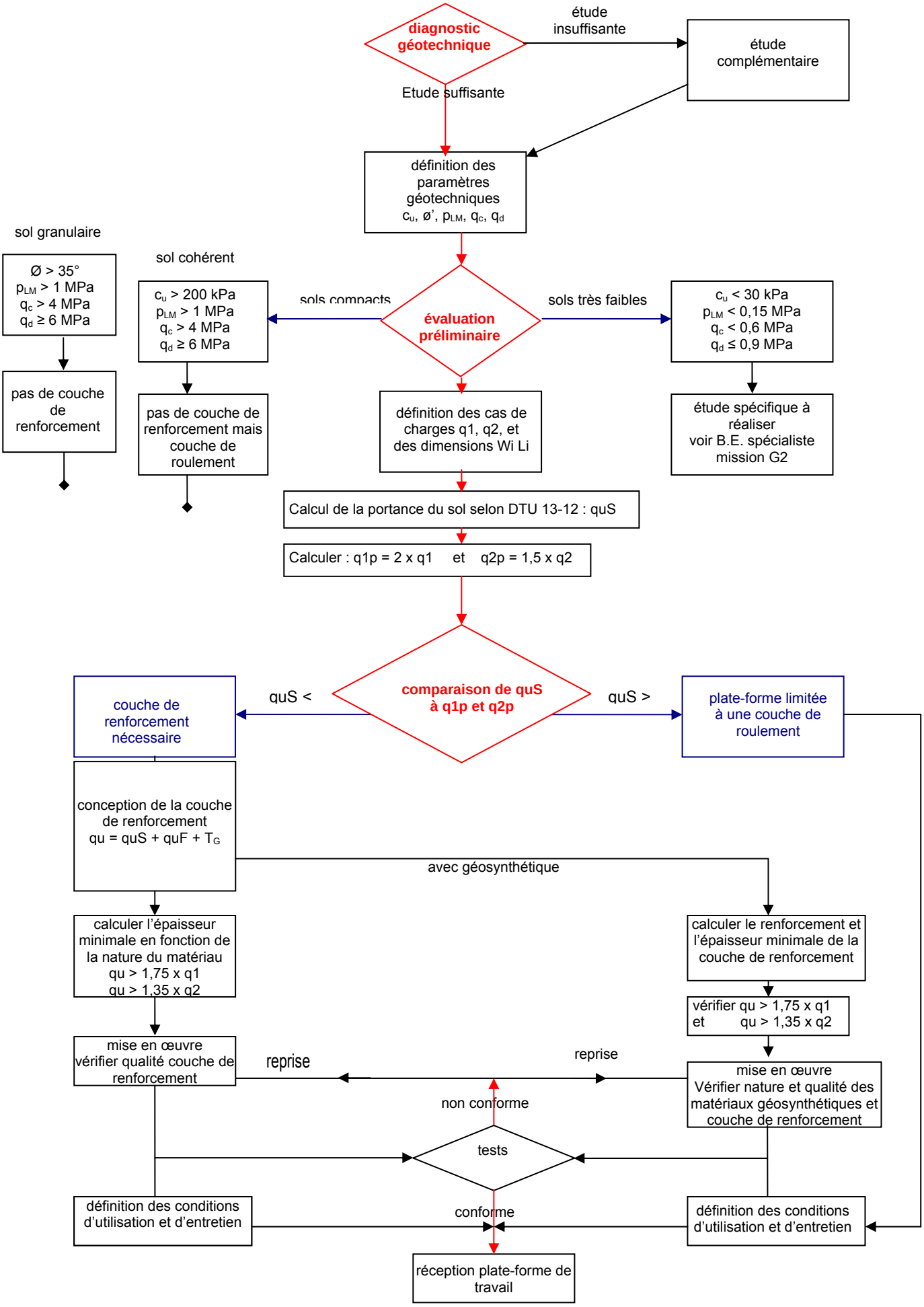
1) sol support très faible :
   - nécessité d'une étude spécifique, arrêt de la séquence logique de conception,
2) sol support faible à moyen :
   - poursuite de la séquence logique,
3) sol support bon :
   - pas de nécessité de mettre en place une couche de renforcement. Par contre, une couche de roulement peut être nécessaire pour des plates-formes en matériau argileux, limoneux ou marneux sensibles à l'eau, avec intercalation d'un géosynthétique anti-contaminant.

Si on se trouve dans le cas n°2, on poursuit la séquence des tâches.

III.3 - Vérification de la portance du sol

Cette mission est effectuée selon DTU 13-12 et établissement de la valeur "quS".

SEQUENCE LOGIQUE POUR LA CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL 5



III.4 - Cas de charge

Etablissement, par l'entreprise utilisatrice, des cas de charges correspondant à l'engin sur chenille le plus lourd ou ayant la contrainte au sol la plus élevée.

Les cas de charge q1 et q2 sont déterminés par l'entreprise par la méthode de la semelle équivalente (voir annexe n°3) :

- q1 : en déplacement ou au travail sans pouvoir intervenir sur la stabilité. Cette charge doit être pondérée par un coefficient de 2, soit :

$$q1p = 2 \times q1$$

- q2 : en traction sur le treuil de levage avec possibilité de réduire ou relâcher la traction :

$$q2p = 1,5 \times q2$$

III.5 - Evaluation secondaire

- si q1p et q2p sont inférieures à quS, on peut limiter la couche de renforcement à une couche de roulement,

- si q1p et/ou q2p sont supérieures à quS, il faut poursuivre la séquence d'étude.

III.6 - Couche de roulement

Elle a deux objectifs :

- protection durable de la plate-forme de travail pendant le chantier,

- permettre la circulation tout temps des véhicules de chantier.

Elle sera composée de matériaux granulaires drainants compactables de type grave 0/30 mm à 0/60 mm, son épaisseur dépendra de l'homogénéité du sol support et ne sera pas inférieure à 0,1 m, cas des sols support sableux, et 0,2 m, cas des sols support argilo-marneux. Dans ce dernier cas, on interposera un géosynthétique anti-contaminant.

N.B. : si le sol support à une nature graveleuse, la couche de roulement pourra être ignorée si après compactage les valeurs suivantes sont atteintes :

$$EV_2 > 30 \text{ MPa}$$
$$EV_{2\ moyen} \geq 35 \text{ MPa}$$

III.7 - Conception de la couche de renforcement

La couche de renforcement est conçue en épaisseur et qualité à partir de trois termes :

- la contrainte ultime du sol support "**quS**" définie plus haut,
- la résistance au cisaillement dans la couche de renforcement "**quF**",
- la résistance à la traction mobilisable dans un géosynthétique de renforcement placé à la base de la couche de renforcement (T_G).

Deux cas peuvent se présenter :

- couche de renforcement sans géosynthétique,
- couche de renforcement + géosynthétique de renforcement.

La fiche de calcul pour dimensionner ces deux cas sont données en annexe n°3.
Le paramétrage de cet ouvrage sera donné dans une note de calcul : "Etude d'exécution" (mission G3).

Les critères définissant la couche de renforcement sont les suivants :

- nature : classe granulométrique, pourcentage de fines, argilosité.

  Les classes de matériaux acceptables sont les suivantes selon la classification G.T.R. :

  D_1, D_2, B_3, D_3,
  R_{11}, R_{12}, R_{41}, R_{61} et F_{31}, F_{61} et F_{71}

- propriétés mécaniques : angle de frottement interne ø', densité relative et éventuellement la valeur Los Angeles ou Micro-Deval des graves constitutives.
- épaisseur : déterminée par le calcul, pour assurer la stabilité au poinçonnement en fonction de l'angle de frottement interne et de la compacité.

III.8 - Mise en œuvre de la couche de renforcement

Elle sera mise en œuvre selon les recommandations de l'étude d'exécution et selon les recommandations du G.T.R.. Une approche du dimensionnement est donnée en annexe n°7 avec les exemples d'application à divers types de matériaux.

Ensuite l'entreprise de terrassement procédera aux contrôles internes et externes et aux reprises jusqu'à obtention des critères (qualité q4 et 95% de γd OPN).

III.9 - Réception de la plate-forme de travail

Cette réception doit être contradictoire entre l'entreprise utilisatrice et l'entreprise constructeur de la plate-forme de travail et sous le contrôle éventuel du maître d'œuvre ou de l'entreprise générale. Elle se fera au moyen :

- d'essais à la plaque,
- d'essais au pénétromètre statique ou dynamique.

Les critères à obtenir au minimum sont les suivants et caractéristiques d'une PF1 :

$EV_2 > 30$ MPa
$EV_{2\ moyen} \geq 35$ MPa
$q_d \geq 6$ MPa à -0,3 m
qualité q4

IV - DEFINITION ET CONSISTANCE DES ETUDES GEOTECHNIQUES

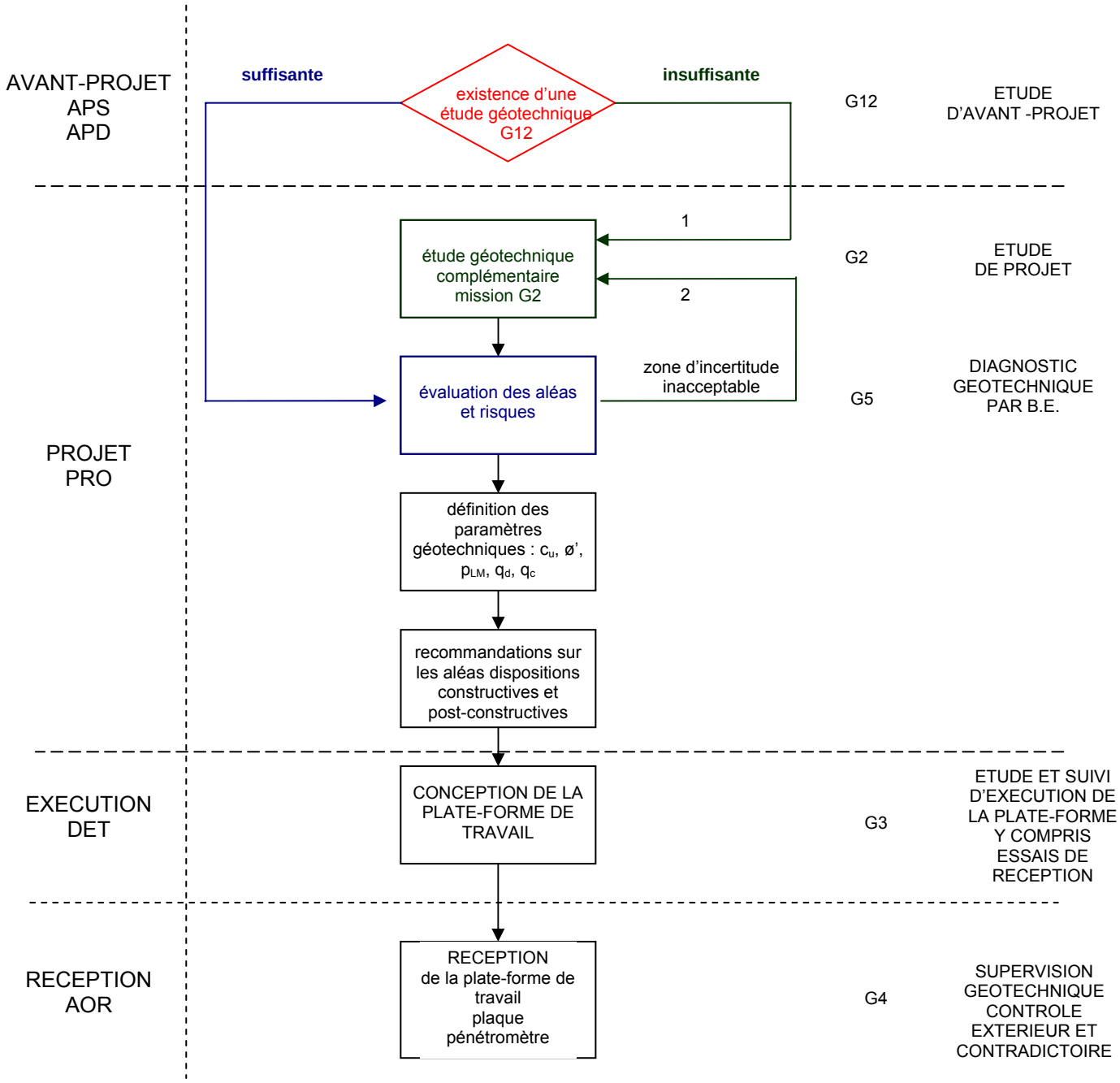
Trois étapes sont distinguées dans les études géotechniques :

- l'étude géotechnique générale du terrain et du projet de construction qui permet de déterminer la nature et les propriétés physico-mécaniques des couches superficielles – étude d'avant-projet mission G12,
- l'étude de diagnostic géotechnique - mission G5 : elle doit permettre une évaluation détaillée du sol support à partir de l'étude géotechnique d'avant-projet - mission G12, et de définir la nécessité ou non d'une étude plus détaillée,
- la conception de la couche de renforcement :
  - étude géotechnique de projet (mission G2) à la charge du maître d'œuvre) et/ou
  - étude géotechnique d'exécution (mission G3), à la charge de l'entreprise constructeur de la plate-forme de travail,
- les contrôles d'exécution et de réception des travaux : supervision d'exécution - mission G4.

L'enchaînement logique de ces missions est donné dans l'organigramme page suivante.

N.B.$_1$: les études, suivis et supervision des travaux (missions G3 et G4) sont confiées à un B.E. ou un ingénieur ayant une compétence en géotechnique, cela peut être le B.E. ou un ingénieur géotechnicien de l'entreprise.
N.B.$_2$: l'étude géotechnique d'avant-projet (mission G12) doit être confiée à un B.E. géotechnique extérieur aux entreprises car elle concerne la totalité du projet de construction.

ETAPE POUR L'EVALUATION DES ALEAS ET L'ACQUISITION DES PARAMETRES GEOTECHNIQUES - MISSIONS G12 + G5



IV.1 - Inventaire des aléas

Le géotechnicien aura à établir lors de la phase de diagnostic et d'étude de projet (missions G5 + G2), la liste des aléas et risques géotechniques devant faire l'objet d'une évaluation, à savoir :

- nature des sols et propriétés mécaniques,
- hétérogénéité,
- compressibilité,
- profondeur et fluctuations de la nappe,
- risque de venues d'eau par résurgence, ruissellement et artésianisme,
- présence de cavités d'origine naturelle ou anthropique,
- présence d'anciennes tranchées - réseaux, ou archéologiques,
- présence de remblais, d'affouillement, de points durs,
- présence de talus pouvant être instables,
- risque d'inondation,
- affaissabilité,
- retrait / gonflement,
- agressivité chimique des sols au regard des traitements et des géosynthétiques.

Une fiche d'évaluation géotechnique préliminaire est donnée en annexe.

L'inventaire des aléas doit aboutir à une série de recommandations adaptées pour la conception de la plate-forme de travail.

IV.2 - Détermination de la profondeur d'investigation

Les couches composant le sol support doivent être connues :

- de façon détaillée dans la zone d'influence des chenilles (profondeur supérieure à quatre fois leur largeur et à au moins 3 m),

- de façon générale si possible jusqu'au substratum incompressible (éléments disponibles dans l'étude d'avant-projet - mission G12).

On peut donc admettre que la connaissance générale du site assurée par l'étude d'avant-projet, est suffisante. Par contre, il pourra s'avérer nécessaire de procéder à une série de sondages courts complémentaires (pénétromètre, pressiomètre, ...) jusqu'à -3 m de profondeur.

IV.3 - Nature des essais à réaliser et fréquence

L'analyse de la capacité portante des sols pourra être effectuée à partir des paramètres intrinsèques c_u et ø', ou à partir de la résistance à la rupture mesurée ou dérivée des essais in-situ, tels que pénétromètre statique (q_c), pénétromètre dynamique (q_d) ou pressiomètre (p_{LM}).

La fréquence des points de sondages dépendra de la surface couverte par la future plate-forme de travail (P.F.T.), de l'hétérogénéité des sols d'assise et du poids des machines.

*PFT ≤ 500 m²	2 sondages dont 1 profond
500 ≤ PFT ≤ 2 500 m²	1/500 m² dont 1 profond
2 500 m² ≤ PFT ≤ 10 000 m²	courts : 3 points + 1/1 000 m² profonds : 1 point 3 000 m²
PFT ≥ 10 000 M²	courts : 10 points + 1 pour 2 000 m² au-delà de 10 000 m² profonds : 1 point pour 4 000 m²

Ils prennent en compte les sondages de l'étude d'avant-projet et peuvent être effectués à la réception de la P.F.T..

V - CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

V.1 - Généralités

La couche de renforcement est dimensionnée pour obtenir la contrainte ultime qu supérieure ou égale à la contrainte apportée par les chenilles de l'engin avec un coefficient de sécurité suffisant :

$$qu \geq q_1 \times SF1$$
$$qu \geq q_2 \times SF2$$

Où SF1 et SF2 sont les coefficients de sécurité (SF1 = 2 et SF2 = 1,5).

V.2 - Les trois composantes de qu

La contrainte ultime est la somme des trois composantes :

$$qu = quS + quF + T_G$$

(1) - la résistance du sol support : quS

(2) - la résistance au cisaillement de la couche de renforcement : quF

(3) - la résistance à la traction du géosynthétique placé à la base de la couche de renforcement : T_G

V.3 - Coefficients de sécurité

L'interposition d'une couche de renforcement d'angle de frottement interne élevé et connu peut permettre de réduire les coefficients à :

SF1 = 1,75
SF2 = 1,35

V.4 - Résistance ultime du sol - "quS"

Elle est calculée selon le DTU 13-12, à savoir :

- à partir des paramètres intrinsèques c_u et ø' c' :

$$quS = c_u\ Nc\ Sc + 0{,}5\ \gamma\ I\ N\ N\gamma\ S\gamma$$

- de p_{LM}' la pression limite mesurée au pressiomètre :

$$quS = 0{,}8\ p_{LM}'$$

- de q_c la résistance de pointe au pénétromètre statique :

$$quS = q_{c\ équivalent}\ x\ kc$$

- ou de q_d la résistance de pointe au pénétromètre dynamique :

$$quS = q_{d\ equivalent}\ /kd$$

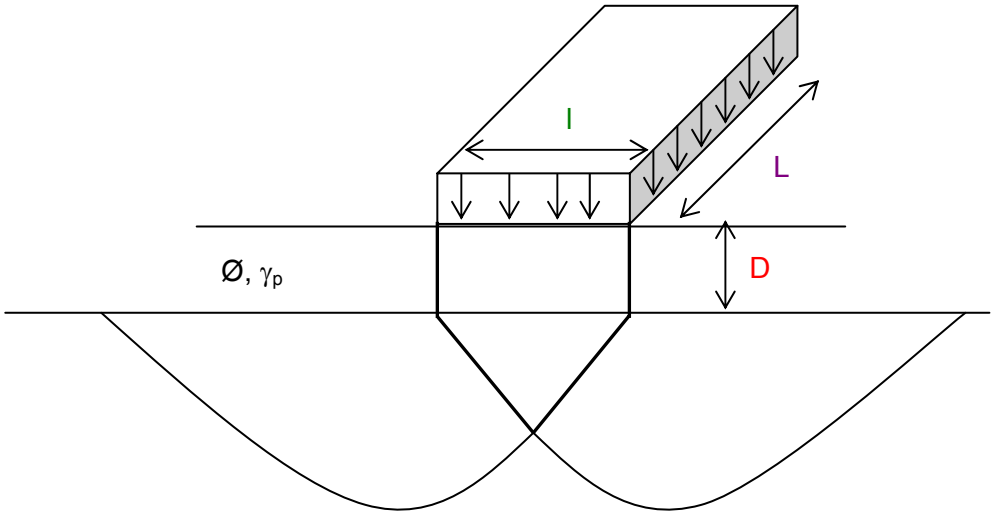
avec :

- Nc, Nγ, facteur de portance dépendant de l'angle de frottement interne,
- kc = 0,22 pour l'argile,
  = 0,08 pour les sables,
- kd = 5 pour l'argile,
  = 7 pour les sables,
- Sγ = 1 - 0,3 (I/L)
- Sc = 1 + 0,2 (I/L)

V.5 - Résistance au poinçonnement de la couche de renforcement - quF

Le terme de résistance au poinçonnement de la couche de renforcement est donné par l'application de la méthode de Meyerhof :

$$quF = (\gamma_p \, D^2 / l) \, Kp \tan \delta \, Sp$$



Où :

D : épaisseur de la couche de renforcement
l : largeur équivalente de la chenille
L : longueur équivalente de la chenille
Sp : coefficient de forme = 1 + (l / L)
Kp tan δ : coefficient calculé d'après la formulation de Meyerhof, avec : δ = 2/3 ø'
γ_p = poids spécifique du matériau de la couche de renforcement

V.6 - Résistance du géosynthétique - T_G

Les géosynthétiques sont décomposés en trois catégories :

- géotextiles tissés,
- géotextiles non tissés,
- géogrilles.

La résistance du géosynthétique au poinçonnement :

$$T_G = 2 \, \sigma_G / l$$

Avec : $\sigma G = \sigma_{G\,ult} / 2$ par sécurité

V.7 - Calcul d'optimisation

Le calcul de vérification s'effectue de façon interactive, avec :

q_1 et $q_2 \leq quS + quF + T_G$
voir fiche de calcul en annexe

En fonction du coût des matériaux d'apport, on pourra privilégier ou non l'adjonction d'un géosynthétique (T_G).

VI - VERIFICATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

VI.1 - Réception

Le sol support étant considéré comme connu et invariable, l'entreprise qui recevra la plate-forme de travail devra procéder aux vérifications selon l'une ou plusieurs des méthodes suivantes :

- densité relative : 90% de l'O.P.M.,
  95% de l'O.P.N.,
- qualité de compactage selon courbes QUIBEL q4 (pénétromètre dynamique),
- pénétromètre,
- module de plaque : $EV_1 \geq 15$ MPa
  $EV_2 \geq 35$ MPa PF1
  $EV_2/EV_1 \leq 2,5$
- essai de déflexion - chantier d < 300/100ème mm (*voir annexe n°5),

Elle devra vérifier que les hypothèses du diagnostic sont toutes vérifiées, notamment :

- nature des matériaux constitutifs et homogénéité,
- épaisseur de la couche de renforcement,
- profondeur de la nappe.

VI.2 - Entretien

L'entreprise utilisatrice de la plate-forme de travail devra s'assurer du maintien des caractéristiques de la plate-forme, notamment en cas :

- de forte pluie ou de remontée de la nappe,
- d'orniérage.

Un entretien avec purge, compactage et drainage si nécessaire devra être réalisé.

ANNEXE N°1

Symboles, définitions et unités

SYMBOLES, DEFINITIONS ET UNITES

- P.F.T. : plate-forme de travail.
- Q1 (MPa) : contrainte exercée par les chenilles pendant le travail normal ou le déplacement.
- Q2 (MPa) : contrainte maximale exercée par les chenilles sur le sol support pendant l'extraction des outils, tube, bennes, etc...
- q1p (MPa) : contrainte Q1 pondérée d'un coefficient de sécurité.
- q2p (MPa): contrainte Q2 pondérée d'un coefficient de sécurité.
- quS (MPa) : contrainte ultime du sol (à la rupture).
- quF (MPa) : contrainte ultime de la couche de renforcement (au poinçonnement).
- T_G (MPa) : contrainte de cisaillement du géosynthétique.
- σ_G (MPa) : résistance à la traction du géosynthétique.
- Ø (°) : angle de frottement interne du matériau.
- c_u (kPa) : cohésion non drainée du sol.
- p_{LM} (MPa) : pression limite mesurée au pressiomètre Ménard.
- q_c (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre statique.
- q_d (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre dynamique.
- EV_1 (MPa) : module de déformation.
- EV_2 (MPa) : module de déformation.
- K_w (MPa/m) : coefficient de Westergaard.
- D (m) : épaisseur de la couche de renforcement.
- l (m) : largeur équivalente de la chenille.
- L (m) : longueur équivalente de la chenille.
- Sp : coefficient de forme = 1 + (l/L).
- Kp tan δ : coefficient calculé d'après la formulation de Meyerhof, avec : δ = 2/3 ø'.
- γ_p (kN/m^3)= poids spécifique du matériau de la couche de renforcement.

ANNEXE N°2

Fiches d'évaluation

PLATE-FORME DE TRAVAIL POUR ENGINS SUR CHENILLES

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE

Paramètres	Description
1 - <u>aléas</u> : - présence de talus	
- niveau de la nappe	
- variations de la nappe	
- présence de cavités ou galeries	
- existence de réseaux enterrés	
- fouilles archéologiques	
- sols actifs, affaissables	
- présence de remblais de forte épaisseur	
- matériaux évolutifs	
- matériaux chimiquement agressifs	
2 - <u>sol support</u> : - nature 0-3 m de profondeur	
- nature -3/-10 m ou substratum compact - évaluation des risques de tassement profond	
- propriétés mécaniques 0-3 m (p_{LM}, q_c, q_d, c_u, ø	
3 - <u>couche de renforcement</u> : - nature	
- épaisseur	
- ø', q_d	

nécessité d'une étude détaillée (mission G2)

FICHE D'EVALUATION POUR LE CHEF DE CHANTIER

Situation à évaluer	Réponse Oui	Réponse Non	Actions requises
1 - existence d'une plate-forme de travail	☐		évaluation à faire par le B.E.
		☐	dimensionnement à faire
2 - étude géotechnique disponible suffisante (se reporter au § IV.4)	☐		faire évaluer l'étude par B.E géotechnique
		☐	demander étude géotechnique ou complément
3 - caractéristiques des engins utilisés q_1, I_1, L_1	☐		vérifier valeurs dans le calcul
		☐	faire évaluer
en condition ultime de travail q_2, I_2, L_2	☐		vérifier les valeurs dans le calcul
		☐	
4 - dimensionnement de la couche de renforcement	☐		obtenir la fiche du B.E.
		☐	faire faire le calcul par B.E. compétent
5 - réception de la plate-forme de travail : - conformité des matériaux	☐		ok
		☐	purge
- conformité de l'épaisseur	☐		ok
		☐	faire recharger les zones non conformes
- conformité du géosynthétique	☐		ok
		☐	faire recalculer la stabilité
- conformité du compactage - essais à la plaque	☐		ok
		☐	faire recompacter
- essais de déflection conforme	☐		ok
		☐	- faire purger les zones qui matelassent - faire recompacter les zones qui marquent trop
- essai au pénétromètre conforme qualité q4 et épaisseur	☐		ok
		☐	faire évaluer par un géotechnicien
6 - entretien selon consigne B.E. - inspection journalière	☐	☐	
- inspection hebdomadaire	☐	☐	

Liste des consignes particulières (à remplir par le chef de chantier en fonction du rapport du B.E.) :

ANNEXE N°3

Fiches de calculs

FICHE DE CALCUL EXCEL

CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

Caractéristiques de la chenille :

largeur l =	0,5	m
longueur L =	3,0	m

Caractéristiques du chargement :

Q1 =	0,3	MPa
Q2 =	0,5	MPa

CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT

Sol cohérent (argile)	_	**x**
Sol granulaire (sable)	_	

Cohésion	Angle de frottement	Densité	Ngamma	Nc	Pression limite	Résistance dynamique	Résistance statique
c_u (kPa)	ø (°)	γ (kN/m^3)			p_{LM}' (MPa)	q_d (MPa)	q_c (MPa)
					0,4		5

quS = **0,320** **MPa**

COMPARAISON DES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

quS inférieur à 2,0 x Q1 d'où **couche de renforcement nécessaire**

quS inférieur à 1,5 x Q2 d'où **couche de renforcement nécessaire**

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement = 38

D'où Kp tan delta = **4,2**

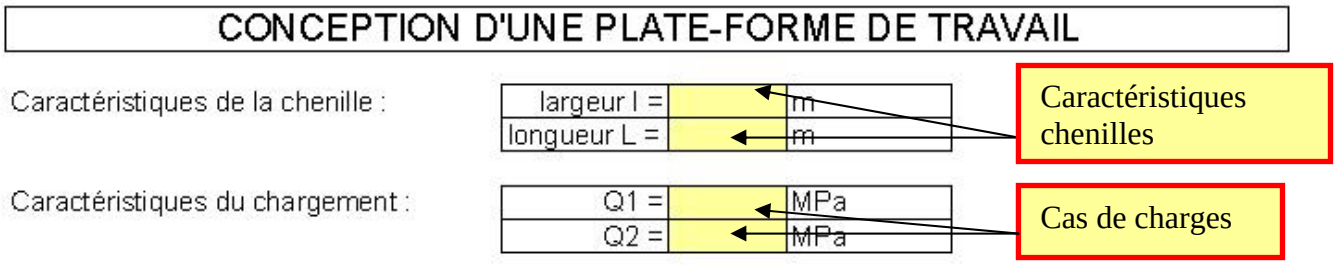
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3) 18

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 170 kN/ml
D'où qF> 0,355 MPa	D'où TG= 0,340 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,4 m	**D > 0,3 m**

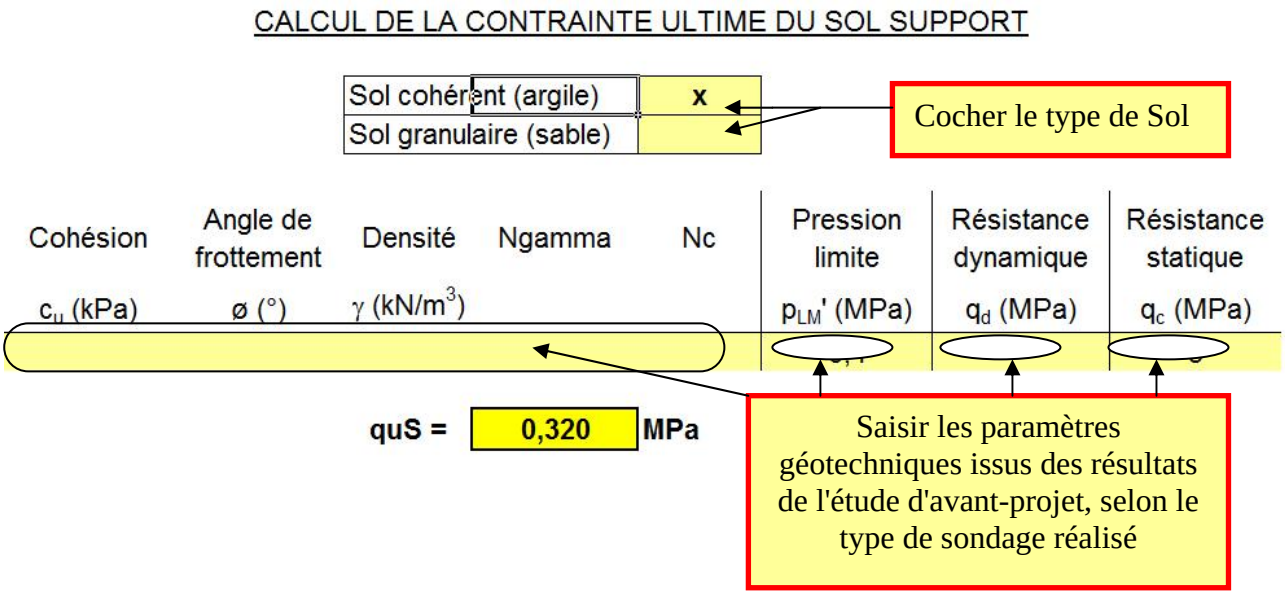
DIDACTITIEL

FICHE DE CALCUL EXCEL – CONCEPTION COUCHE DE RENFORCEMENT

ETAPE 1 : SAISIE DES PARAMETRES DE L'ENTREPRISE

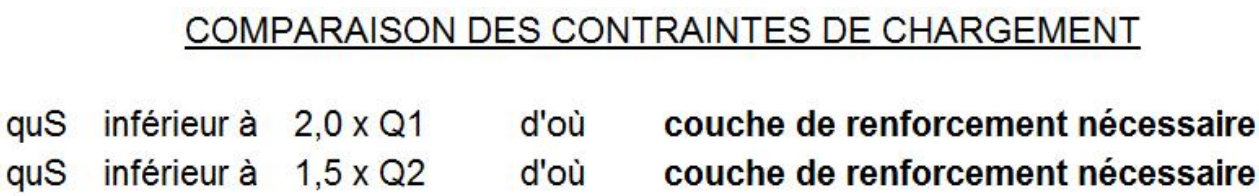


ETAPE 2 : CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT



ETAPE 3 : COMPARAISON AVEC LES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

Affichage automatique (rien à faire)



ETAPE 4 : CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Saisie de l'angle de frottement et de la masse volumique du matériau de la couche de renforcement

Saisie de la résistance à la traction du géosynthétique éventuel

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement = 38

D'où Kp tan delta = 4,2

Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3) 18

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 170 kN/ml
D'où qF> 0,355 MPa	D'où TG= 0,340 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,4 m	D > 0,3 m

Affichage automatique du résultat = épaisseur de la couche de renforcement

EXEMPLE D'APPLICATION N°1

Données machine :

Largeur chenille : l = 0,5 m
Longueur chenille : L = 3,0 m

q1 = 0,4 MPa d'où q1p = 0,8 MPa
q2 = 0,5 MPa d'où q2p = 0,75 MPa

Calcul de la portance quS :

Résultat de l'étude géotechnique :

Sol support constitué d'argile
Pression limite :

$p_{LM}' = 0,60$ MPa

Résultat feuille de calcul :

CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

Caractéristiques de la chenille :

largeur l =	0,5	m
longueur L =	3,0	m

Caractéristiques du chargement :

Q1 =	0,4	MPa
Q2 =	0,5	MPa

CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT

Sol cohérent (argile)		**x**
Sol granulaire (sable)		

Cohésion	Angle de frottement	Densité	Ngamma	Nc	Pression limite	Résistance dynamique	Résistance statique
c_u (kPa)	ø (°)	γ (kN/m^3)			p_{LM}' (MPa)	q_d (MPa)	q_c (MPa)
					0,6		

quS = **0,480** **MPa**

COMPARAISON DES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

quS inférieur à 2,0 x Q1 d'où **couche de renforcement nécessaire**
quS inférieur à 1,5 x Q2 d'où **couche de renforcement nécessaire**

Résultat du calcul : avec grave d'apport ø' = 35°, γ_p = 19 kN/m^3

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	35
D'où Kp tan delta =	**3,1**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	19

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 20 kN/ml
D'où qF> 0,220 MPa	D'où TG= 0,040 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement : **D > 1,3 m**	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement **D > 1,1 m**

Optimisation de l'épaisseur de la couche de renforcement :

Afin de diminuer l'épaisseur de la couche de renforcement, on peut augmenter la résistance à la traction du géosynthétique :

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 100 kN/ml
D'où qF> 0,220 MPa	D'où TG= 0,200 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement : **D > 1,3 m**	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement **D > 0,4 m**

EXEMPLE D'APPLICATION N°2

Données machine :

Largeur chenille : l = 0,5 m
Longueur chenille : L = 3,0 m

q1 = 0,4 MPa d'où q1p = 0,8 MPa
q2 = 0,5 MPa d'où q2p = 0,75 MPa

Calcul de la portance quS :

Résultat de l'étude géotechnique :

Sol support constitué de sable graveleux
Résistance au pénétromètre statique :

q_c = 2,5 MPa

Résultat feuille de calcul :

CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

Caractéristiques de la chenille :

largeur l =	0,5	m
longueur L =	3,0	m

Caractéristiques du chargement :

Q1 =	0,4	MPa
Q2 =	0,5	MPa

CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT

Sol cohérent (argile)		**x**
Sol granulaire (sable)		

Cohésion	Angle de frottement	Densité	Ngamma	Nc	Pression limite	Résistance dynamique	Résistance statique
c_u (kPa)	ø (°)	γ (kN/m^3)			p_{LM}' (MPa)	q_d (MPa)	q_c (MPa)
							2,5

quS = **0,550** **MPa**

COMPARAISON DES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

quS inférieur à 2,0 x Q1 d'où **couche de renforcement nécessaire**
quS inférieur à 1,5 x Q2 d'où **couche de renforcement nécessaire**

Résultat du calcul : avec grave d'apport ø' = 35°, γ_p = 19 kN/m^3

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	35
D'où Kp tan delta =	**3,1**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	19

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 20 kN/ml
D'où qF> 0,150 MPa	D'où TG= 0,040 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,0 m	**D > 0,9 m**

Optimisation de l'épaisseur de la couche de renforcement :

Afin de diminuer l'épaisseur de la couche de renforcement, on peut augmenter la résistance à la traction du géosynthétique :

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	35
D'où Kp tan delta =	**3,1**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	19

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 70 kN/ml
D'où qF> 0,150 MPa	D'où TG= 0,140 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,0 m	**D > 0,3 m**

EXEMPLE D'APPLICATION N°3

Données machine :

Largeur chenille : l = 0,5 m
Longueur chenille : L = 3,0 m

q1 = 0,4 MPa d'où q1p = 0,8 MPa
q2 = 0,5 MPa d'où q2p = 0,75 MPa

Calcul de la portance quS :

Résultat de l'étude géotechnique :

Sol support constitué d'argile
Résistance dynamique :

q_d = 3,8 MPa

Résultat feuille de calcul :

CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

Caractéristiques de la chenille :

largeur l =	0,5	m
longueur L =	3,0	m

Caractéristiques du chargement :

Q1 =	0,4	MPa
Q2 =	0,5	MPa

CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT

Sol cohérent (argile)	_	**x**
Sol granulaire (sable)	_	

Cohésion	Angle de frottement	Densité	Ngamma	Nc	Pression limite	Résistance dynamique	Résistance statique
c_u (kPa)	ø (°)	γ (kN/m^3)			p_{LM}' (MPa)	q_d (MPa)	q_c (MPa)
						3,4	

quS = **0,680** **MPa**

CALCUL DES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

quS inférieur à 2,0 x Q1 d'où **couche de renforcement nécessaire**
quS inférieur à 1,5 x Q2 d'où **couche de renforcement nécessaire**

Résultat du calcul : avec grave d'apport ø' = 30°, γ_p = 18 kN/m^3

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	30
D'où Kp tan delta =	**1,8**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	18

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= kN/ml
D'où qF> 0,020 MPa	
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	
D > **0,5** **m**	**m**

EXEMPLE D'APPLICATION N°4

Données machine :

Largeur chenille : l = 0,5 m
Longueur chenille : L = 3,0 m

q1 = 0,4 MPa d'où q1p = 0,8 MPa
q2 = 0,5 MPa d'où q2p = 0,75 MPa

Calcul de la portance quS :

Résultat de l'étude géotechnique :

Sol support constitué de limon argileux
Cohésion :

c_u = 50 kPa

Angle de frottement :

ø = 10 °

Résultat feuille de calcul :

CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL

Caractéristiques de la chenille :

largeur l =	0,5	m
longueur L =	3,0	m

Caractéristiques du chargement :

Q1 =	0,4	MPa
Q2 =	0,5	MPa

CALCUL DE LA CONTRAINTE ULTIME DU SOL SUPPORT

Sol cohérent (argile)	_	**x**
Sol granulaire (sable)	_	

Cohésion	Angle de frottement	Densité	Ngamma	Nc	Pression limite	Résistance dynamique	Résistance statique
c_u (kPa)	ø (°)	γ (kN/m^3)			p_{LM}' (MPa)	q_d (MPa)	q_c (MPa)
50	10	17	1,2	9			

quS = **0,470** **MPa**

COMPARAISON DES CONTRAINTES DE CHARGEMENT

quS inférieur à 2,0 x Q1 d'où **couche de renforcement nécessaire**
quS inférieur à 1,5 x Q2 d'où **couche de renforcement nécessaire**

Résultat du calcul :

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	38
D'où Kp tan delta =	**4,2**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	19

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 70 kN/ml
D'où qF> 0,230 MPa	D'où TG= 0,140 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement :	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,1 m	**D > 0,7 m**

Optimisation de l'épaisseur de la couche de renforcement :

Afin de diminuer l'épaisseur de la couche de renforcement, on peut augmenter la résistance à la traction du géosynthétique :

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Angle de frottement interne de la couche de renforcement =	38
D'où Kp tan delta =	**4,2**
Masse volumique de la couche de renforcement = (kN/m3)	19

SANS GEOSYNTHETIQUE	AVEC GEOSYNTHETIQUE
q ult = quS + qF où qF = poinçonnement	q ult = quS + qF + T_G où T_G résistance du géosynthétique
qF doit être supérieur à 1,75xQ1 - quS qF doit être supérieur à 1,35xQ2 - quS	Résistance à la traction : sigma G= 100 kN/ml
D'où qF> 0,230 MPa	D'où TG= 0,200 MPa
Epaisseur minimale de la couche de renforcement	D'où l'épaisseur minimale de la couche de renforcement
D > 1,1 m	**D > 0,4 m**

ANNEXE N°4

Consignes particulières

Cette annexe comprendra les consignes d'entretien et de sécurité pour les chefs de chantiers ou conducteurs de travaux.

ANNEXE N°5

Normes et règlements

NORMES ET REGLEMENTS

- GEOTECHNIQUE :

A - NORMES ET REGLES GENERALES

D.T.U. 13-11	Fondations superficielles (NFP 11-211) Cahier des clauses techniques
D.T.U. 13-12	Fondations superficielles (NFP 11-711)
NF P 11-301	Exécution des terrassements (terminologie)
NF P 11-300	Exécution des terrassements Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme

B - ESSAIS IN-SITU

NF P 94 110	Essai pressiométrique
NF P 94 112	Essai scissomètrique en place
NF P 94 113	Essai de pénétration statique
NF P 94 115	Sondage au pénétromètre dynamique type B
NF P 94116	Essai de pénétration au carottier (S.P.T.)

C - ESSAIS DE LABORATOIRE

NF P 94 040	Détermination de la granulométrie et de la valeur au bleu
NF P 94 051	Détermination des limites d'Atterberg
NF P 94 071 - 1 et 2	Essai de cisaillement rectiligne à la boite
NF P 94 074	Essai triaxial de révolution
NF P 94 093	Essai Proctor

- GEOSYNTHETIQUES :

NORMES ET REGLES GENERALES

NF EN ISO 10-318	Géosynthétiques –Termes et définitions
NF EN ISO 10-319	Géotextiles – Essai de traction des bandes larges
NF EN ISO 11-058	Géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique
NF EN ISO 12-236	Géosynthétiques – Essai de poinçonnement statique (essai CBR)
NF EN ISO 12-956	Géotextiles et produits apparentés – Détermination de l'ouverture de filtration caractéristique
NF EN ISO 12-957-1	Géosynthétiques – Détermination des caractéristiques de frottement – Partie 1 : essai de cisaillement direct
NF EN ISO 13-431	Géotextiles et produits apparentés – Détermination du comportement au fluage en traction et de la rupture au fluage en traction
NF EN 13-249	Géotextiles et produits apparentés – caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des routes et autres zones de circulation
NF EN 13-251/A1	Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des routes et autres zones de circulation
NFG 38-063	Articles à usages industriels – Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Utilisation des géotextiles et produits apparentés sous remblais sur sols compressibles

- TERRASSEMENTS :

GUIDES TECHNIQUES

G.T.R. 92	
G.T.S.	Guide Technique pour le Traitement des sols et/ou aux liants hydrauliques Application à la réalisation des remblais et des couches de forme

ANNEXE N°6

Missions géotechniques
NF P 94-500

Tableau 2 - Classification des missions types d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques. Il appartient au maître d'ouvrage ou à son mandataire de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.

ETAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2).Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.

ETUDE GEOTECHNIQUE PRELIMINAIRE DE SITE (G11)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire ou d'esquisse et permet une première identification des risques géologiques d'un site :
- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique spécifique du site et l'existence d'avoisinants.
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation du projet au site et une première identification des risques.

ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT PROJET (G12)

Elle est réalisée au stade d'avant projet et permet de réduire les conséquences des risques géologiques majeurs identifiés :
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants).

Cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

ETAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

Elle est réalisée pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les conséquences des risques géologiques importants identifiés. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et peut être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.

Phase Projet
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir une synthèse actualisée du site et les notes techniques donnant les méthodes d'exécution proposées pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, dispositions vis-à-vis des nappes et avoisinants) et les valeurs seuils associées, certaines notes de calcul de dimensionnement niveau projet.
- Fournir une approche des quantités/délais/coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques et une identification des conséquences des risques géologiques résiduels.

Phase Assistance aux Contrats de Travaux
- Etablir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.

ETAPE 3 : EXECUTION DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Se déroulant en 2 phases interactives et indissociables, elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement confiée à l'entrepreneur.

Phase Etude
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations en fonction des valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles), élaborer le dossier géotechnique d'exécution.

Phase Suivi
- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Etude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Elle permet de vérifier la conformité aux objectifs du projet, de l'étude et du suivi géotechniques d'exécution. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Phase Supervision de l'étude d'exécution
- Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées.

Phase Supervision du suivi d'exécution
- Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisinants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle.
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques.

Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, de suivi et supervision, doivent être réalisées ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique, si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.

ANNEXE N°7

Couche de renforcement

Matériaux – Constitution – Pré-dimensionnement

SCREG ILE-DE-FRANCE NORMANDIE
Direction Technique

PLATE FORME DE TRAVAIL
MATERIAUX / CONSTITUTION / PRE-DIMENSIONNEMENT

En géotechnique routière, la plate-forme de travail peut être assimilée à une COUCHE DE FORME. Par conséquent, les matériaux qui la constituent ainsi que les épaisseurs qui la caractérisent sont indiquées :

1. **d'une manière générale dans le : Guide Technique LCPC/SETRA réf. D92333-1 et 2 « réalisation des remblais et des couches de formes »***

2. **localement, dans les nombreux guides techniques (IDF, Normandie …) comme par exemple : le Guide Technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France / Catalogue des structures de chaussée – DREIF (déc. 2003)**

PRINCIPE GENERAL

Le principe est de « pré-dimensionner » une plate-forme de travail dont la portance à court terme est d'au moins 35 MPa, ce qui correspond à une PF1+ au sens des référentiels techniques précités.

MATERIAUX

En première approche, on peut retenir les 4 grandes familles de matériaux suivantes :

DMax ≤ 50 mm
- MATERIAUX FINS DE TYPES LIMONS ARGILEUX ➔ **A1/A2**
- MATERIAUX SABLEUX ➔ **D1/B1/B2**
- MATERIAUX GRAVELEUX ➔ **D2/B3/B4**

DMax > 50 mm
- MATERIAUX CHARPENTES OU ROCHEUX ➔ **C1/C2 R1/R2/R4/R6**

Les matériaux particuliers de types :

- bétons ou produits de démolition recyclés
- laitiers
- MIOM
- …

trouvent également leur emploi dans ce type d'ouvrage par assimilation à une des 4 familles ci-dessus et SOUS RESERVE qu'ils ne fassent pas l'objet d'une interdiction technique et/ou légale.

Ces 4 familles de matériaux doivent être aussi caractérisés par les paramètres géotechniques fondamentaux suivants :

δ ➔
C' ➔
φ' ➔

Quelques exemples sont donnés à titre indicatif dans le tableau ci-après :

Matériaux fins de types limons argileux (A1/A2) traités à la chaux	γ_p ➔ 20 kN/m^3 C' ➔ 10 kPa φ' ➔ 26°
Matériaux sableux (D1/B1/B2)	γ_p ➔ 19 kN/m^3 C' ➔ 0 φ' ➔ 35°
Matériaux graveleux (D2/D3/D4)	γ_p ➔ 21 kN/m^3 C' ➔ 0 φ' ➔ 36°
Matériaux charpentés / rocheux C1/C2 – R1/R2/R4/R6	γ_p ➔ 20 kN/m^3 C' ➔ 0 φ' ➔ 45°

Le Directeur Technique Adjoint,

Laurent BRISSAUD