

GUIDE D'UTILISATION DES NORMES DE DIMENSIONNEMENT DANS LA CONCEPTION DES OUVRAGES AVEC GÉOSYNTHÉTIQUES

GUIDELINES FOR USE OF THE DESIGN STANDARDS IN CONSTRUCTIONS USING GEOSYNTHETICS

Alain HÉRAULT¹, Philippe DELMAS²

¹ Bonar, Antony, France

² CNAM, Paris, France

RÉSUMÉ – Le guide proposé n'a pas vocation à remplacer les guides de conception déjà existants, il les complètera en abordant avant tout les questions spécifiques au dimensionnement à travers les normes appropriées. Il attirera l'attention sur le rôle de chaque intervenant dans la phase de dimensionnement et les conséquences de certains choix sur le dimensionnement des géosynthétiques voire même la conception générale de l'ouvrage. Le document sera décomposé en chapitres précédés d'une introduction générale commune. Chaque chapitre correspondra à un type d'ouvrage pour faciliter l'accès aux utilisateurs.

Mots-clés : dimensionnement, type d'ouvrage, classe de conséquence, durée d'utilisation, valeurs nominales.

ABSTRACT – The goal of these guidelines is not to replace the existing design guidelines, it will complement them by dealing with the specific dimensioning issues through appropriate design standards. It will highlight the role of each stakeholder in the dimensioning phase and the consequences of some choices on the geosynthetics dimensioning, and sometimes on the global designing of the structure. The document will be divided into chapters preceded by a common general introduction. Each chapter will correspond to one structure type in order to make access easier for the users.

Keywords: Dimensioning, structure type, consequence class, service life, nominal values.

1. Introduction

Dès ses origines, le Comité Français des Géosynthétiques (CFG) a, sous son nom de l'époque CFGG (Comité Français des Géotextiles et Géomembranes), activement contribué à la diffusion des bonnes pratiques de conception et prescription d'ouvrages ou parties d'ouvrages utilisant des géosynthétiques. Certains de ses outils de l'époque ont eu un tel succès qu'ils restent ancrés dans la pratique quotidienne malgré leur obsolescence.

Aujourd'hui, d'anciennes normes de dimensionnement sont révisées, de nouvelles viennent compléter leur champ d'application, le Comité Français des Géosynthétiques se devait de mettre à la disposition des utilisateurs de géosynthétiques un outil didactique qui permette à chacun d'avoir un aperçu des règles de dimensionnement existantes applicables à son type d'ouvrage. Ce guide sera décomposé en chapitres précédés d'une introduction générale commune. Chaque chapitre correspondra à un type d'ouvrage pour faciliter l'accès aux utilisateurs.

Ce guide montrera l'importance d'une bonne connaissance des mécanismes et des règles pour la rédaction des documents de marché, il précisera également l'apport des donneurs d'ordre dans la conception des ouvrages. La présente communication propose par thème ou application des points à traiter en rappelant quelques erreurs ou lacunes fréquentes, mais son but est aussi de susciter des contributions de la profession pour alimenter le groupe de travail qui va se mettre en place.

2. Rappels de terminologie

La norme NF EN ISO 10318 - Termes et définitions, fournit en français, anglais et allemand la signification, éventuellement les abréviations, des termes usuels dans le domaine des géosynthétiques. Ils concernent les fonctions, familles et propriétés des produits avec notamment certains paramètres indispensables à la conception et la distinction entre valeurs caractéristiques et valeurs nominales.

Le cas échéant, des termes parfois utilisés à tort seront précisés. Il conviendra par exemple de rappeler ici la différence entre géotextiles et géomembranes et les fonctions qui peuvent y être associées, voire même de généraliser cette démarche en explicitant l'annexe A. Peut-être pourra-t-on essayer de définir des plages de valeurs usuelles qui permettent d'entrer dans le champ des exigences fonctionnelles requises pour une application donnée. On pourrait par exemple définir une plage de résistance en traction pour un mur en sol renforcé bien supérieures à celles d'un renforcement de couche de forme, indiquer qu'une base drainante sous remblai de performance hydraulique comparable à une couche granulaire nécessite un géosynthétique de drainage d'un certain niveau de performance en termes de capacité de débit dans le plan. Ceci aurait le mérite de relativiser les fonctions par rapport à un type d'ouvrage donné et de combler, en partie seulement, le vide laissé par les classes de géotextiles du CFGG, devenues et déclarées obsolètes par le CFG mais qui, faute de nouvel outil disponible, persistent sur certains documents de marchés. En effet, l'objectif se limiterait à la définition de niveaux de performance habituels pour une propriété essentielle à un dimensionnement afin d'éviter de grossières erreurs de terminologie et de spécification, il ne serait absolument pas d'établir une grille de prédimensionnement ni un catalogue de valeurs par défaut.

3. Le contexte Eurocodes (EC)

3.1. Généralités

Les Eurocodes sont des normes européennes de conception, établies pour être compatibles et homogènes aux produits de la construction dont la libre circulation, dans l'espace économique européen, est garantie par leur marquage CE. Cette harmonisation des méthodes de calcul vise à faciliter aussi la libre circulation des prestations de service. L'emploi des Eurocodes assure d'une présomption de satisfaction aux exigences essentielles de résistance mécanique, de stabilité des ouvrages et de sécurité d'utilisation (Sétra, 2010). Depuis Avril 2010, l'application des Eurocodes s'impose devant les anciennes normes françaises.

3.2. Le code des marchés publics

Le code des marchés publics d'Août 2006 a été rédigé en conformité à la directive 2004/18/CE du Parlement européen relative aux procédures de passation des marchés de travaux, de fournitures et de service 2004/18/CE. Contrairement aux règlements antérieurs (CCTG et DTU), les normes sont d'application volontaire. L'article 6 du code des marchés publics stipule que les spécifications techniques doivent être définies soit en référence à des normes ou à d'autres documents équivalents, soit en termes de performances ou d'exigences fonctionnelles. Si le marché fait référence à des normes, l'utilisation des normes nationales transposant des normes européennes doit être privilégiée ce qui implique l'utilisation, en priorité, des normes françaises transposant les Eurocodes, dotées de leurs annexes nationales et des normes nationales d'accompagnement éventuelles.

3.3. Application aux géosynthétiques

Les Eurocodes sont au nombre de 10, ils couvrent les différents matériaux de construction, par exemple les structures en béton (EC2), structures en acier (EC3), structures en bois (EC5), et le calcul géotechnique (EC7).

Considérant l'action géotechnique comme une action transmise à la structure par le terrain, un remblai, une masse d'eau ou l'eau souterraine, les ouvrages utilisant des géosynthétiques relèvent de l'EC7 (NF EN

1997 et annexes). Leur conception doit également intégrer les principes développés dans la base de calcul des structures (EC0 – NF EN 1990 et annexes), et prendre en compte comme il se doit les actions sur les structures (EC1 – NF EN 1991 et annexes). Le cas échéant, on vérifiera la résistance de l'ouvrage au séisme (EC8 – NF EN 1998 et annexes).

Toutes les applications des géosynthétiques n'entrent cependant pas, ou pas encore, dans un processus de conception justifié par le calcul, elles ne sont donc pas couvertes par une norme de dimensionnement. Certaines d'entre elles font l'objet de recommandations émises par le CFG, son approche fut dans un certain nombre de cas d'intégrer malgré tout, au moins partiellement, une démarche Eurocodes, qui présentait l'avantage de moduler les exigences fonctionnelles.

4. Les choix fondamentaux de la Maîtrise d'Ouvrage

4.1. Classes de conséquences

L'approche Eurocodes développée dans la NF EN 1990 – Annexe B (Afnor, 2003) prévoit une analyse préalable des risques en fonction des aléas potentiels et de la fiabilité recherchée pour l'ouvrage compte-tenu des conséquences d'une ruine éventuelle de la structure. Ces conséquences doivent être examinées par la maîtrise d'ouvrage en termes humains, socio-économiques et d'impact environnemental. Trois classes de conséquences sont ainsi définies (tableau 1).

Tableau 1. Classes de conséquences

	Conséquences en termes sociaux, économiques ou d'environnement...	
Classe de conséquences	...sur les personnes	...sur les ouvrages à construire ou les constructions avoisinantes
CC1 (conséquences faibles)	faibles ou négligeables	faibles ou négligeables
CC2 (conséquences moyennes)	modérées	importantes
CC3 (conséquences élevées)	importantes	très importantes

Cette approche se retrouve aussi dans les exigences en matière de contrôle de la qualité des matériaux géosynthétiques dans la NF G 38 060, car de ce choix de classe de conséquences dépendent les niveaux de supervision et de contrôle du projet. On augmentera ainsi la fréquence des contrôles pour des ouvrages à risques plus élevés ; une analyse rigoureuse des risques par la maîtrise d'ouvrage permettra de ne pas accroître inutilement le coût du projet.

4.2. Catégories géotechniques

La catégorie géotechnique d'un projet s'inscrit dans le prolongement des classes de conséquences définies précédemment, elle doit être définie par le maître d'ouvrage ou son représentant avant le début des études de projet et, le cas échéant, précisée au fur et à mesure de l'avancement des études. Elle dépend de la complexité géotechnique du site et des conséquences des défaillances de l'ouvrage (NF EN 1997-1/NA) (Afnor, 2006). Le tableau 2 définit trois catégories géotechniques et leurs conséquences sur le niveau de précision de l'étude du projet.

Tableau 2. Catégories géotechniques et bases des justifications en fonction des classes de conséquence et des conditions de site

Classe de conséquences	Conditions de site	Catégorie géotechnique	Bases des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple ou complexes		
CC3	importantes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis

4.3. Situations de projet

Un changement de destination des structures est souvent à l'origine d'incidents voire d'accidents. Un ouvrage conçu pour une utilisation provisoire (situation transitoire) peut ne pas être suffisamment résistant pour une exploitation durable. Ceci peut notamment être illustré dans le domaine des géosynthétiques par le phénomène de fluage, déformation dans le temps d'un matériau sous sollicitation constante, sa rupture ou une déformation excessive de l'ouvrage peut ainsi intervenir à sollicitation constante si la durée de la sollicitation excède la durée de chargement prévue lors du dimensionnement.

Les situations exceptionnelles naturelles (séismes, vent...) ou d'exploitation (surcharges, chocs) sous-évaluées sont aussi à l'origine de déformations excessives ou d'instabilité partielle ou totale de l'ouvrage. Les conséquences peuvent être importantes. Parallèlement, une surévaluation en intensité et durée du phénomène augmente le coût des fournitures géosynthétiques. Enfin, dans un souci de réduction des coûts, certains risques d'instabilité partielle aux conséquences maîtrisées sont parfois tolérés par les intervenants.

Il est donc de la responsabilité des maîtres d'ouvrage et des gestionnaires de fixer précisément leurs exigences en la matière, ils devront distinguer les situations durables et les situations exceptionnelles (ou accidentelles), car là aussi, une analyse rigoureuse des situations de projet et des risques admissibles par la maîtrise d'ouvrage peut avoir des conséquences non négligeables sur le coût des fournitures géosynthétiques.

4.4. Durée d'utilisation de projet

Le dimensionnement d'un ouvrage, quelle que soit la nature de ses composants, dépend de la durée d'utilisation de projet, qui doit donc être fixée préalablement à la conception par la maîtrise d'ouvrage. Elle est notamment déterminante dans le choix du facteur partiel spécifique à la durabilité d'un matériau. Lorsque la durée d'utilisation de projet de l'ouvrage géotechnique n'est pas spécifiée, c'est la valeur donnée par le tableau 2.1 de l'Annexe Nationale à la NF EN 1990 (NF EN 1990/NA ; NF P 06-100-2) qui est à prendre en compte. Le tableau 3 issu de la NF EN 1997-1/NA), donne des exemples de projets qui sont normalement associés aux différentes catégories de durée d'utilisation.

La durée d'utilisation de projet ne doit pas être confondue avec la durée de sollicitation du produit : dans le cas par exemple d'un renforcement de sol sur zone d'effondrements localisés, selon les exigences du gestionnaire, la durée de sollicitation du produit peut être limitée à quelques jours ou semaines, c'est-à-dire le délai d'intervention pour combler la zone effondrée, tout en restant dans le cadre d'une durée d'utilisation de projet de 100 ans, durée pendant laquelle le produit doit être opérationnel pour répondre au risque d'effondrement.

Tableau 3. Durée indicative d'utilisation de projet

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet (années)	Exemples
1	10	Structures provisoires
2	25	Eléments structuraux remplaçables
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures courantes de génie civil et de bâtiments
5	100	Autres structures de génie civil, ponts et structures monumentales de bâtiments

Le guide devra adapter ce tableau aux ouvrages concernés par les géosynthétiques.

5. Les spécificités de chaque type d'ouvrage

Elles seront étudiées à travers le corpus normatif national et européen, le tableau 4 rappelle les normes concernées par type d'ouvrage ou partie d'ouvrage.

Tableau 4. Normes et guides de dimensionnement

N° Chapitre	Type d'ouvrage ou partie d'ouvrage	Normes/guides
	Drainage d'un dôme, d'un talus, masques drainants	NF G 38061, XP G 38067
	Remblais en sol renforcé - talus et murs	XP G 38064, NF P 94270 NF G 38061
	Renforcement de base de remblai <ul style="list-style-type: none"> • Remblai sur sol compressible • Remblai sur sol karstique • Remblai sur inclusions rigides 	NF G 38063
	Consolidation (PVD) et base drainante de remblai	NF EN 15237 Annexe B, NF G 38061
	Tranchées drainantes	NF G 38061
	Stabilisation de sol sur pente	NF G 38061, XP G 38067
	Rétention de sol sous enrochements	NF G 38061
	Drainage des ouvrages de génie civil	NF G 38061
	Protection des géomembranes	Guide CFG
	Renforcement de couches de forme et plates-formes	Pour mémoire

Un certain nombre de recommandations pour le dimensionnement des géosynthétiques sont disponibles en parallèle des normes existantes, ou en complément lorsque les normes n'existent pas. On peut citer par exemple le fascicule du CFG « Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes » (CFG, 2015).

Les spécificités de chaque type d'ouvrage pourraient être abordées selon le plan ci-dessous.

5.1. Description des ouvrages

L'utilisateur du guide retrouvera dans un chapitre donné toutes les informations relatives au dimensionnement des géosynthétiques dans le type d'ouvrage considéré, cette vue d'ensemble lui permettra d'appréhender toutes les interfaces éventuelles entre géosynthétiques, et tout particulièrement

celles ayant un effet direct sur le dimensionnement. Cette décomposition par ouvrage présente aussi l'avantage de rappeler ou faire découvrir à l'utilisateur d'éventuelles solutions variantes aux solutions traditionnelles.

5.2. Contraintes principales et points d'arrêt en phase de conception

Seront mises ici en exergue les erreurs à ne pas commettre en phase de conception, erreurs qui peuvent rendre infructueux un appel d'offre ou se traduire par des contentieux inextricables avec ou sans défaillance de l'ouvrage. La prise de conscience se faisant plus en amont, meilleure sera la gestion du problème et l'on évitera aux géosynthétiques des contre-performances nuisibles à tous. On peut citer l'exemple d'un bassin d'orage dont la couche de protection et de végétalisation requiert une emprise libre suffisante en tête pour le bon ancrage du dispositif de stabilisation de la couche de terre. Une emprise disponible insuffisante, mal appréhendée à l'origine du projet, conduit parfois les concepteurs à raidir sensiblement la pente des talus au point de la rendre incompatible avec l'apport de terre végétale.

5.3. Description des normes et règles de conception/justification disponibles

Une synthèse des principes de dimensionnement retenus dans chacune des normes donnera à l'utilisateur un aperçu des mécanismes étudiés, il prendra ainsi conscience des contraintes qui pèsent sur l'environnement de l'ouvrage ou à l'inverse de l'effet de l'environnement et des conditions de chantier sur le dimensionnement de son ouvrage.

5.4. Principales données ou hypothèses nécessaires à la conception

Une connaissance la plus exhaustive possible des paramètres d'entrée conduira à des dimensionnements plus précis et plus sûrs. En effet, faute de ces informations essentielles au dimensionnement, la prudence conduit en général à une démarche conservatrice qui accroît plus ou moins abusivement le coût de l'ouvrage mais aussi parfois à une impasse qui peut se traduire par un sinistre.

5.5. Performances pertinentes à spécifier

Les dimensionnements comportent souvent deux phases, une première phase plus ou moins indépendante du produit qui aboutit à une valeur de calcul, une seconde phase intègre par contre pleinement les propriétés du produit géosynthétique choisi. Ce paragraphe précisera le lien entre valeur de calcul de la performance à spécifier, valeur nominale annoncée par le producteur (VNAP) et valeur caractéristique. Il les reliera aux valeurs VNAP et PRV95 (plage de variation relative à 95%) affichées sur les certificats ASQUAL.

6. Conclusion

L'objectif de ce guide est de contribuer à une meilleure diffusion et prise en compte des bonnes règles de dimensionnement. Il listera les données essentielles pour un certain nombre d'applications couvertes par des règles ou normes de conception. Il devra aussi sensibiliser les donneurs d'ordre sur l'importance de certains de leurs choix pour permettre une conception plus fidèle à leur besoin aboutissant au final à un ouvrage de qualité, au juste prix, avec le moins d'aléas possibles entre la conception, la constitution des documents de marché, et la réalisation de l'ouvrage.

7. Références bibliographiques

- Afnor (2003). NF EN 1990/NA, *Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures - Annexe nationale à la NF EN 1990 : 2003.*
- Afnor (2006). NF EN 1997-1/NA Eurocode 7 – *Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales - Annexe Nationale à la NF EN 1997-1 : 2005.*

Afnor (2007). NF EN 15237 – Exécution des travaux géotechniques spéciaux- Drains verticaux.

Afnor - NF G 38-060, *Textiles – Articles à usages industriels – Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Mise en œuvre – Spécifications – Contrôle des géotextiles et produits apparentés.*

Afnor – NF G 38-061, *Textiles – Articles à usages industriels – Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés dans les systèmes de drainage et de filtration.*

Afnor - NF G 38063, *Textiles – Articles à usages industriels – Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Utilisation des géotextiles et produits apparentés sous remblais sur sols compressibles.*

CFG (2015). *Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes.*

Sétra (2010). *Application des Eurocodes, Recommandations à la maîtrise d'ouvrage. Note d'information Ouvrages d'art 31.*

NF P 94270, *Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué.*

XP G 38064, *Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Murs inclinés et talus raidis en sols renforcés par nappes géosynthétiques - Justification du dimensionnement et éléments de conception*

XP G 38067, *Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente - Justification du dimensionnement et éléments de conception.*

NF P 94270, *Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué.*

