

**Commission
de Normalisation
Justification
des Ouvrages
Géotechniques**

Destinataires :
Membres de la CNJOG

PRESIDENT

Jean-Paul VOLCKE

SECRETARIAT

Gilles VALDEYRON

† 05 56 70 63 10

✉ gilles.valdeyron@cerema.fr

Objet : Précisions sur la justification de la stabilité d'un écran de soutènement hyperstatique vis-à-vis du défaut de butée

Cette note informative rédigée au sein de la Commission de Normalisation des Ouvrages Géotechniques (CNJOG – Groupe Miroir de l'Eurocode 7) a pour objectif de préciser les procédures permettant de justifier la stabilité d'un écran de soutènement hyperstatique vis-à-vis du défaut de butée.

INTRODUCTION.....	2
1 MÉTHODE MEL.....	2
2 MÉTHODE MISS-COEFFICIENT DE RÉACTION.....	2
3 MÉTHODE MISS-ÉLÉMENTS FINIS.....	3

Le Président de la CNJOG

Signé

J.P. VOLCKE

Introduction

La norme NF P 94-282 permet d'analyser la stabilité d'un écran de soutènement vis-à-vis du défaut de butée selon les méthodes de calcul suivantes :

- la méthode MEL : elle est réservée seulement aux écrans isostatiques (écrans en console et écrans maintenus par un seul niveau d'appui). Elle est indispensable pour déterminer la fiche des écrans en console, le moment étant quant à lui évalué par un calcul MISS (notamment MISS-coefficient de réaction) ;
- la méthode MISS-coefficient de réaction ;
- la méthode MISS-éléments finis (ou différences finies – milieux continus).

Les développements qui suivent nécessitent de définir un niveau d'eau approprié à la situation de calcul considérée. Cette question fait l'objet d'une autre note de la CNJOG (disponible à l'adresse internet suivante : <http://www.cfms-sols.org/documentation/normes-et-recommandations>)

1 Méthode MEL

La méthode MEL pour les écrans isostatiques peut être conduite selon deux approches :

- en majorant les actions (typiquement par 1,35) et en minorant les résistances (1,1 ou 1,4) : cela n'est pas conforme aux usages et conduit à surestimer les sollicitations dans l'écran ;
- en faisant porter toute la sécurité par un coefficient global sur la butée ($1,35 \times 1,1 = 1,5$ ou $1,35 \times 1,4 = 1,9$).

Ces deux méthodes donnent strictement le même résultat pour ce qui concerne la fiche. La méthode consistant à appliquer les coefficients partiels à la fois sur les actions (ici les forces de poussée en les multipliant par 1,35) et les résistances (ici les forces de butée en les divisant par 1,4) conduit à des valeurs de moments fléchissants et d'efforts tranchants nécessairement supérieures, dans un rapport 1,35, à celles calculées par la méthode consistant à appliquer les coefficients partiels uniquement sur les résistances (ici les forces de butée en les divisant par $1,4 \times 1,35 = 1,9$). La première méthode conduit à une surestimation des efforts structuraux et n'est pas recommandée (cf. NF P94-282VA1 9.3.2 (1) note 1).

Par ailleurs, le calcul MEL est toujours complété par un calcul MISS mené sans pondérations : on s'assure alors que la structure est capable d'équilibrer les sollicitations ELU obtenues en multipliant par 1,35 celles issues de ce calcul MISS.

2 Méthode MISS-coefficient de réaction

Il est possible de définir deux méthodes de justification (a) et (b) décrites ci-après :

- la méthode (a) conduisant à chercher la fiche donnant le rapport « butée mobilisée / butée mobilisable » requis : $< 1/1,9$ pour des situations permanentes ; $< 1/1,5$ pour des situations transitoires ;
- la méthode (b) consistant, pour une fiche donnée, à minorer « à la source » les paramètres de butée à partir d'un état d'équilibre obtenu en considérant les valeurs caractéristiques des actions et des résistances : la minoration doit atteindre 1,9 pour des situations permanentes et 1,5 pour des situations transitoires.

La pratique française repose sur l'utilisation de la méthode (a). La méthode (b) ne doit pas être utilisée seule mais conjointement avec la méthode (a).

En ce qui concerne la résistance géotechnique et donc la longueur de la fiche de l'écran, il est admis de considérer la méthode (a) ou (b) conduisant à la fiche mécanique la plus courte. Néanmoins, dans les cas où le rapport « butée mobilisée/butée mobilisable » calculé avec la méthode (a) excède 0,8, il convient de prêter une attention particulière aux conséquences éventuelles du risque de dégradation des propriétés du sol. Comme déjà indiqué dans la norme NF P 94-282 et dans l'Eurocode 7, de manière très précise, il convient de :

- contrôler la valeur caractéristique de la cohésion dans les sols cohérents afin de ne pas surévaluer ce paramètre ;
- contrôler la pertinence des modules de réaction considérés dans le cas d'un calcul au coefficient de réaction ;
- vérifier les mécanismes de rupture tels que renard solide, boulanges, stabilité globale ;
- vérifier le niveau de déplacement calculé à l'ELS pour cette fiche ;
- instrumenter l'ouvrage ;
- contrôler de manière générale la robustesse, la fiabilité et la redondance de l'ouvrage projeté.

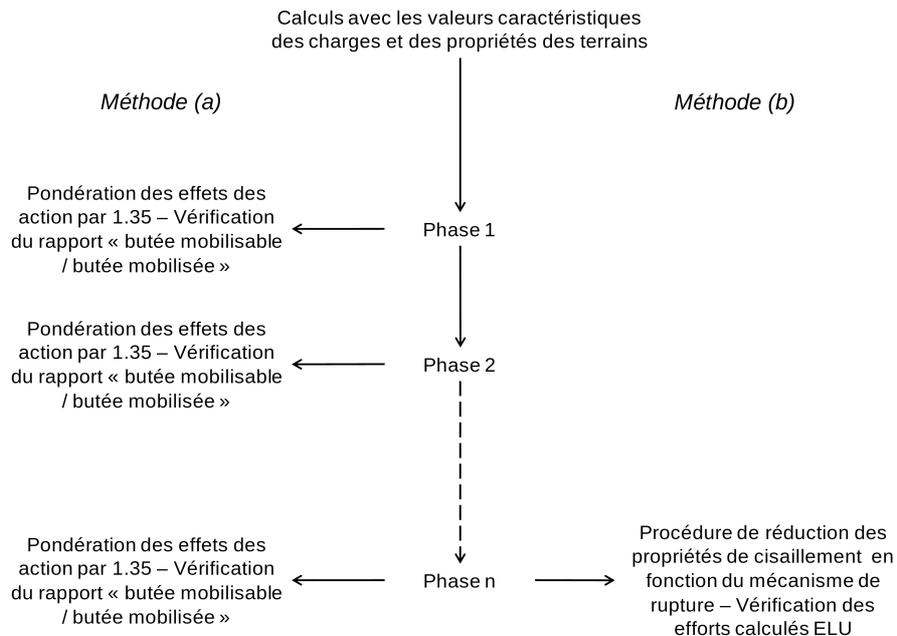
Le cas échéant, il peut être nécessaire de mettre en œuvre la méthode observationnelle.

En ce qui concerne la résistance structurale, il convient de considérer l'enveloppe des efforts obtenus au moyen des méthodes (a) et (b). Le moment fléchissant pris en compte à chaque profondeur z_i est :

$$M(z_i) = \max \left\{ M_a(z_i); M_b(z_i) \right\}$$

où $M_a(z_i)$ et $M_b(z_i)$ désignent les moments fléchissants à la profondeur z_i respectivement obtenus avec les méthodes (a) et (b).

La méthode (b) ne doit pas être systématiquement mise en œuvre pour toutes les phases de justification. Il convient de la mettre en œuvre dans les cas particuliers, par exemple en phase service avec un passage aux caractéristiques « long terme » après coulage du radier ou lorsque le rapport « butée mobilisée/butée mobilisable » obtenu par la méthode (a) ne permet plus de respecter les critères de la norme NF P 94-282.



Les méthodes (a) et (b) rendent compte de deux stratégies de dimensionnement différentes. La méthode (a) privilégie des fiches légèrement longues et évite en général le développement d'autres mécanismes de rupture (il faut néanmoins justifier que ces états limites ne peuvent pas se développer). La méthode (b) privilégie des fiches courtes rendant dimensionnant certains mécanismes comme le renard solide.

Dans le cas extrême d'une fouille blindée ou d'un puits circulaire où l'on peut imposer volontairement une fiche nulle, les méthodes (a) et (b) ne sont évidemment pas pertinentes en ce qui concerne le calcul de la fiche. La méthode (a) permet de calculer les efforts dans l'écran qui sont alors multipliés par 1.35 pour les vérifications ELU. Pour ce genre d'ouvrages, la vérification de la stabilité du fond de fouille est primordiale.

3 Méthode MISS-éléments finis

La raisonnement précédent s'applique quand l'équilibre de l'écran de soutènement est traité à l'aide de la méthode MISS-éléments finis. La mise en œuvre de la méthode (a) nécessite d'estimer la butée mobilisée qu'on peut prendre comme la réaction du sol à l'interface avec l'écran côté butée. La butée mobilisable est estimée analytiquement en dehors du modèle (pour des configurations simples).

La mise en œuvre de la méthode (b) peut être menée par recours à la procédure de réduction des propriétés de cisaillement (c-phi réduction), si l'on respecte les trois conditions suivantes :

- seul le massif de sol situé côté butée doit faire l'objet d'une réduction des propriétés de cisaillement ;
- le facteur de réduction appliqué sur les propriétés de cisaillement doit être tel que la butée mobilisable (théorique) soit réduite de 1,5 pour les phases transitoires et de 1,9 pour les phases durables.
- les éléments de structures doivent être capables de reprendre les sollicitations (ELU) obtenues à l'issue de la procédure de réduction de propriétés de cisaillement.

La procédure de réduction des propriétés de cisaillement appliquée à l'ensemble du massif de sol doit aussi être réalisée. Le facteur minimal recommandé par l'Eurocode 7 est égal à 1,35. Les éléments de structure doivent être capables de reprendre les sollicitations (ELU) obtenues à l'issue de la procédure de réduction de propriétés de cisaillement.