



Optimisation des ouvrages géotechniques Quelles latitudes offertes par l'Eurocode 7 et les normes en géotechnique ?

S.Burlon (Terrasol) et G.Valdeyron (Cerema)
CNJOG

Les différentes normes

Normes d'exécution (TC288) + Cahier des Charges

Qualité des procédures d'exécution
et exigences sur certaines
quantités minimales

Norme d'organisation (NF P 94-500)

Efficacité de l'organisation :
quand le géotechnicien doit
intervenir ? Quel est le contenu
de sa mission ?

Normes d'essais (TC341)

Qualité des données d'entrée
avec des exigences minimales
sur le prélèvement, la
représentativité de l'essai (par
exemple, l'état de contrainte), la
métrologie, l'analyse de l'essai

Normes de calcul, de dimensionnement et de conception (TC250)

Éléments de stratégie (reconnaissance des terrains, choix des
valeurs représentatives, expérience comparable, etc.)
Niveau de sécurité, robustesse, fiabilité avec des valeurs seuils
et des facteurs partiels (prérogative nationale)

Reconnaitances géotechniques / Exécution

La bonne conception et réalisation des ouvrages géotechniques passe par des données d'entrée de qualité et une exécution soignée.

EN 1997-1 2.4.1(2)

Il convient de considérer que la connaissance des conditions de terrain dépend de l'importance et de la qualité des reconnaissances géotechniques. Cette connaissance et le contrôle de la qualité de la réalisation des travaux sont plus importants pour satisfaire les exigences fondamentales que la précision des modèles de calcul et des coefficients partiels.

L'Eurocode 7 : un cadre à l'optimisation

Reconnaitances géotechniques

Gestion de l'incertitude des propriétés des terrains pour le dimensionnement et l'exécution

Nécessité d'une reconnaissance sur site et en laboratoire compte tenu de l'existence de données déjà acquises (bases de données qui tendront à se multiplier dans les années à venir)

Nécessité de définir un volume de sondages minimal en fonction de l'ouvrage géotechnique projeté (ou non...)

Un équilibre est à trouver entre :

- le volume de la reconnaissance des terrains;
- l'incertitude qui paraît acceptable compte tenu de l'ouvrage à dimensionner et à exécuter.

Valeurs représentatives et Valeurs probables

Distinction entre les valeurs représentatives utilisées pour la vérification des états limites (ELS ou ELU) et les valeurs les plus probables (*best estimate*) destinées à la prévision des déplacements des ouvrages existants ou projetés

Vérifier les ELS ne revient pas à prévoir les tassements de l'ouvrage projeté :
les valeurs représentatives choisies doivent donc être relativement prudentes de manière à rendre compte d'incertitudes résiduelles (liées à l'évolution du projet, à l'exécution, etc.)

Prévoir les mouvements des ouvrages existants et l'absence de désordres sur ceux-ci, peut reposer sur l'utilisation de valeurs moins prudentes mais néanmoins raisonnables : ce sont **les valeurs probables**.

On peut donc définir différents jeux de valeurs :
- ceux pour les ELS et les ELU en tenant compte de la phase du projet ;
- ceux pour la vérification des ouvrages existants.
Cette distinction peut contribuer à optimiser les ouvrages géotechniques.

Choix des valeurs représentatives des terrains

Une distinction doit être faite entre les **valeurs dérivées** (modèle de terrain) qui ne sont pas encore associées à un ouvrage particulier et les **valeurs représentatives** à considérer dans les calculs (modèle de dimensionnement géotechnique).

Valeurs dérivées = Modèle de terrain

Valeurs représentatives = Modèle de dimensionnement géotechnique

Par exemple : le module pressiométrique E_M est une valeur dérivée tandis que le module d'élasticité déduit du modèle pressiométrique est une valeur représentative.

Choix des valeurs représentatives des terrains

Modèle de dimensionnement géotechnique

Justifications des ELS et des ELU

Etats limites
ELS/ELU

Situations de calcul
Permanentés et
transitoires
Sismiques
Accidentelles

Sollicitations

Intensité, durée
d'application,
fréquence

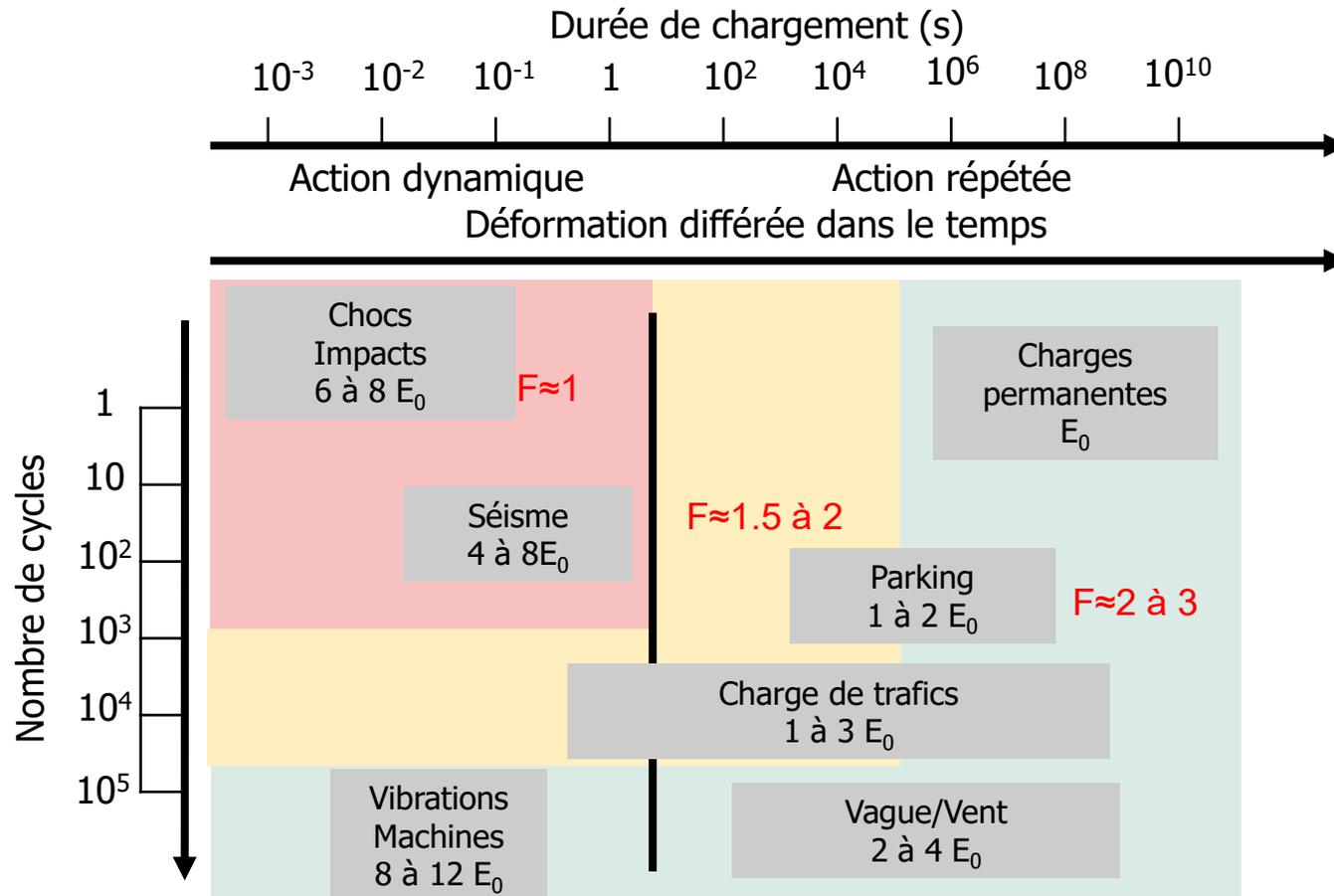
Mécanisme de
rupture ou de
déformation

Volume en jeu
Possibilité de
répartir les
charges

**Le modèle de dimensionnement géotechnique peut différer
selon les états limites et les mécanismes analysés**

Choix des valeurs représentatives des terrains

Un calcul de déplacements doit prendre en compte : le niveau de chargement, la durée d'application de la charge, le nombre de cycles



Stratégie de dimensionnement / Expériences comparables

Le dimensionnement peut relever de différentes stratégies qui sont mises sur le même plan d'importance dans la mesure où elles ont été sanctionnées par des expériences comparables :

- Calculs par facteurs partiels ou des approches probabilistes
- Méthodes forfaitaires / Règles prescriptives
- Essais (grandeur réelle, modélisation physique)
- Méthode Observationnelle

L'approche basée sur le calcul offre une multitude de méthodes toutes compatibles avec les vérifications aux ELS et aux ELU :

- Méthode analytique
- Méthode semi-empirique
- Méthode numérique

La latitude dans le choix de ces stratégies de dimensionnement laisse une place à l'optimisation : essai de chargement si possible, dimensionnement interactif, calcul en déplacement avec ISS, etc.

L'Eurocode 7 : Valeurs seuils et Facteurs partiels

Valeurs seuils

Les normes contiennent un certain nombre de limites qui peuvent être vues comme des contraintes sur les possibilités d'optimisation pour tous les ouvrages :

- $C_{\max} = 25$ MPa pour les ponts (même valeur depuis 50 ans...)
→ **Prendre $C_{\max} = 35$ MPa ?**
- $0.3f_{ck}^*$ (faible rapport aux autres pays)
→ **Passer à $0.35f_{ck}^*$?**
- Exigence sur la quantité minimale de ciment (325 à 375 kg de ciment / m³)
→ **Diminuer de 5 à 10 % ?**
 - Limitation des frottements axiaux pour la portance des pieux
→ **Ne plus utiliser les limitations de la norme NF P 94-262 ?**
- Obliquité des contraintes de poussée et de butée pour des contacts rugueux (équilibre vertical à garantir)
→ $\delta = \varphi$?

Facteurs partiels

Est-il possible d'abaisser les valeurs des facteurs partiels ou d'accepter un non respect des facteurs partiels avec le même niveau de fiabilité ?

- ***Tout dépend d'une part de la phase du projet et des incertitudes restantes, et d'autre part, des déplacements admissibles.***
- ***Tout dépend aussi du sens que l'on donne aux facteurs partiels...***

Les facteurs partiels (« les coefficients de sécurité ») relatifs aux vérifications géotechniques tiennent compte de :

- de l'incertitude des modèles de calcul ;
- de la nécessité de limiter les résistances mobilisées dans le terrain de manière à éviter le développement de déformations différées.

Les facteurs partiels ne rendent pas compte de l'incertitude sur les propriétés des terrains qui sont traitées au moment de l'élaboration du modèle de terrain et du modèle de dimensionnement géotechnique.

Cas du séisme – Evolution de l'EN 1998-5

Dans le cadre de la seconde génération d'Eurocodes, les facteurs partiels présentés dans l'Eurocode 8 – Partie 5 sont réduits à 1.0 (→ il n'y a pas de déplacements différés à gérer).

Différentes approches de calcul sont proposées :

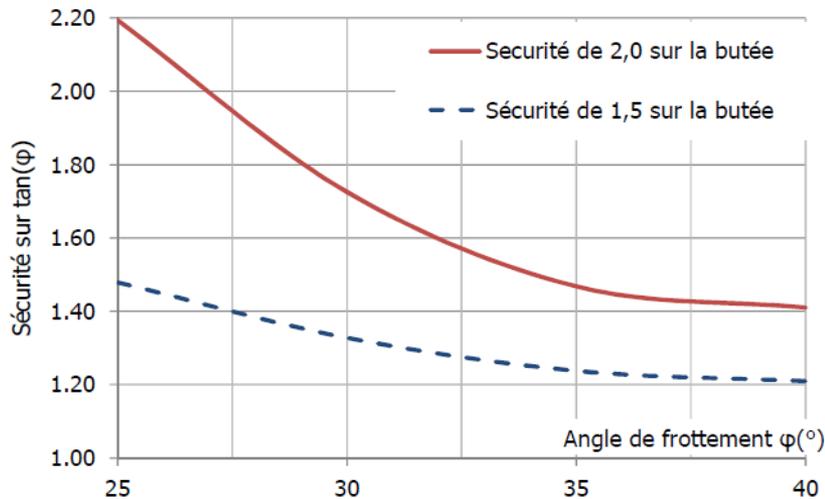
- des approches en forces ;
- des approches en déplacements pour lesquelles les déplacements résiduels et les déplacements lors de l'événement sismique sont analysés.

Cas des remblais, des déblais et des pentes

La vérification de ces ouvrages passent par une limitation du cisaillement dans le terrain le long de certains mécanismes de rupture : cercles, spirales, etc.

	Remblais	Déblais	Pentes
Court terme	1.3	1.3	1.3
Long terme	1.5	1.5	1.5
Gammes en Europe	de 1.1-1.25 (Royaume-Uni) à 1.6-1.8 (Espagne)		

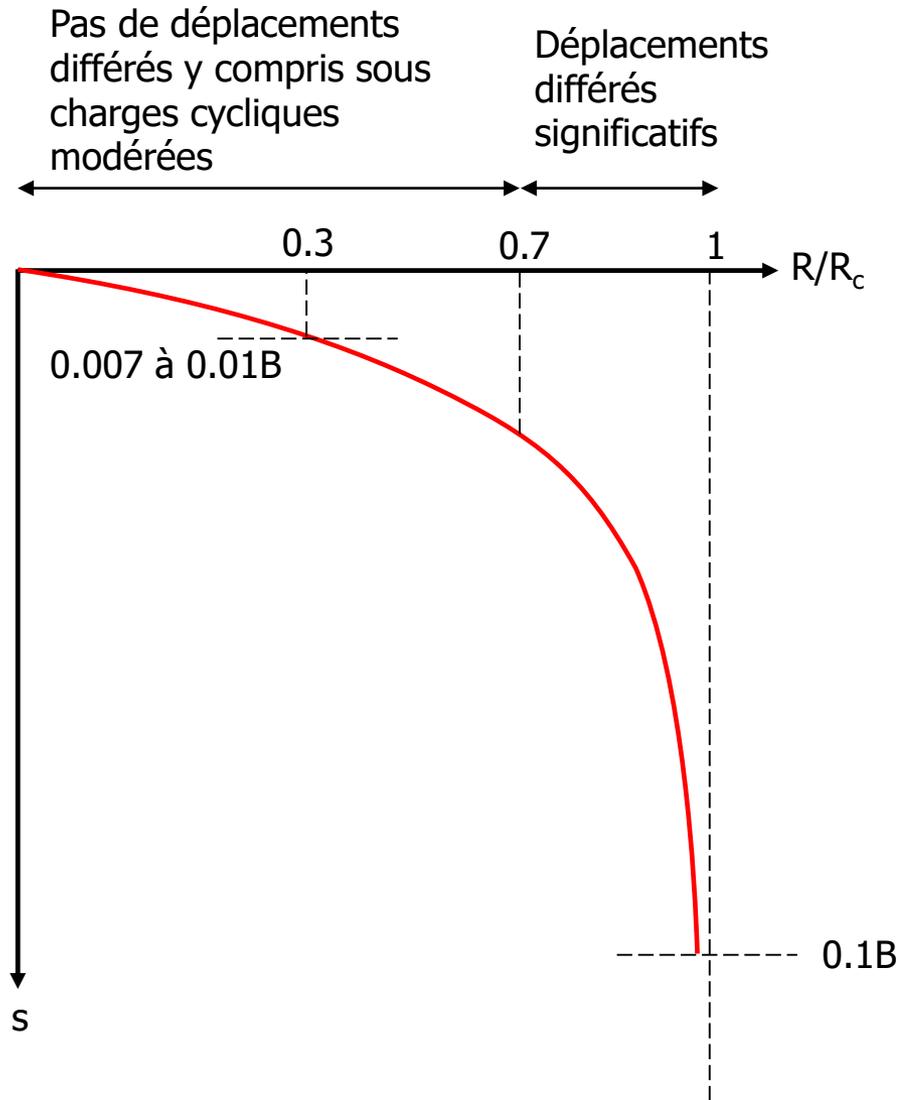
Cas des écrans



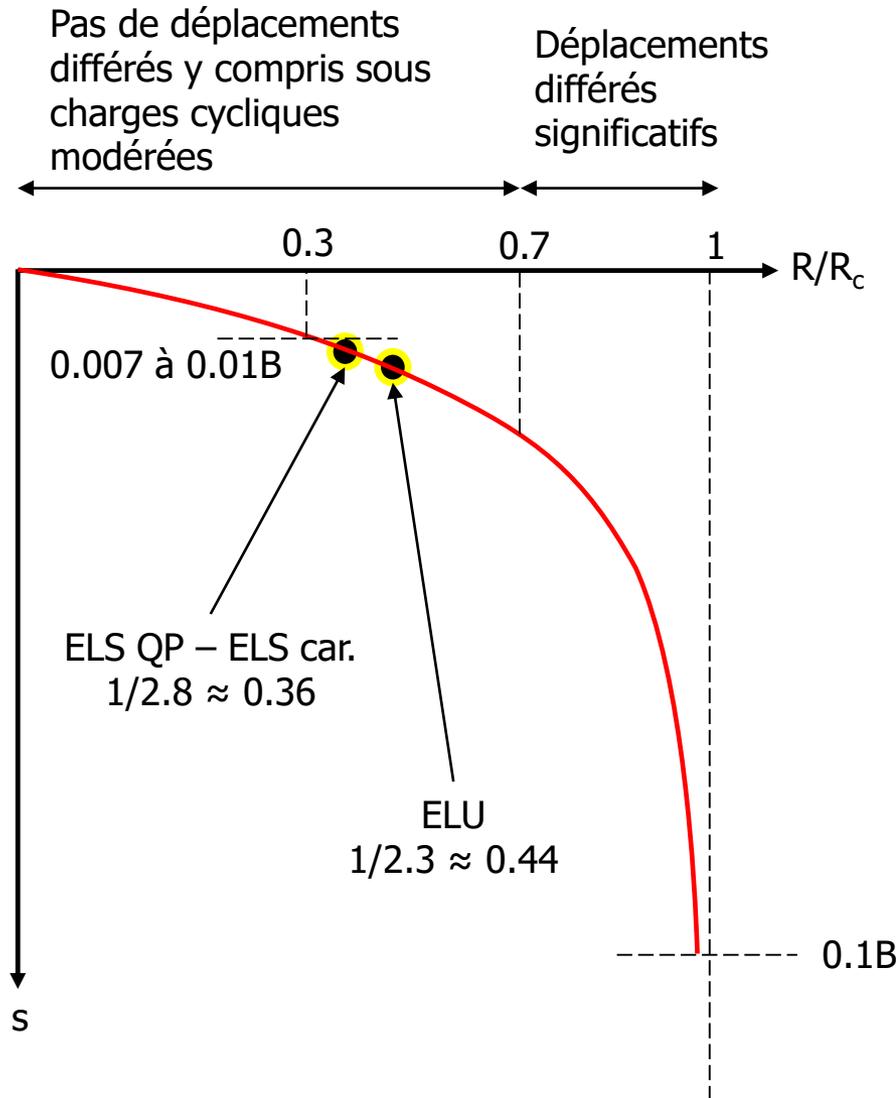
	Ecrans
Court terme	1.5 (K_p) de 1.2 à 1.5 (c et φ)
Long terme	1.9 (K_p) de 1.4 à 2.2 (c et φ)
Gammes en Europe	1.5 à 2 (K_p) 1.25 (c et φ)

L'application des facteurs partiels sur la résistance globale ou les propriétés de cisaillement dans le cadre de calculs en déplacement laisse une place à l'optimisation.

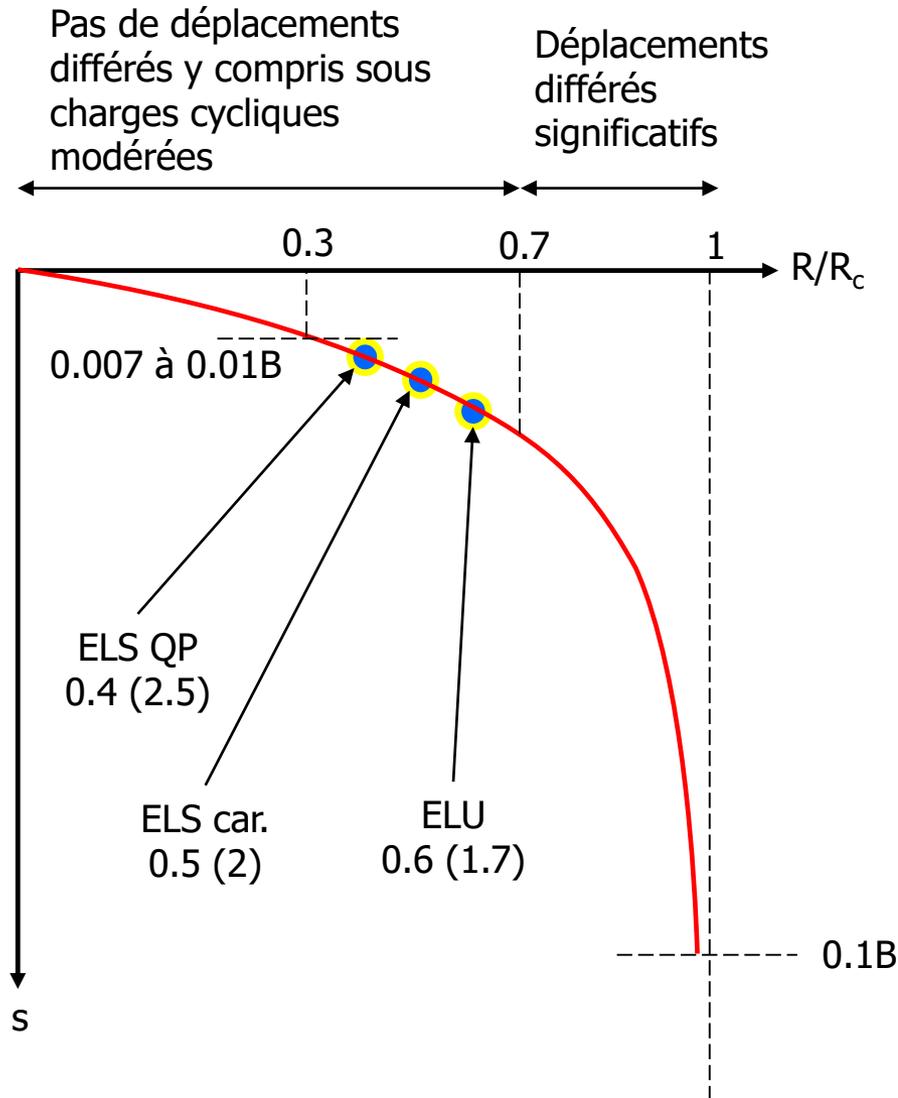
Cas des fondations



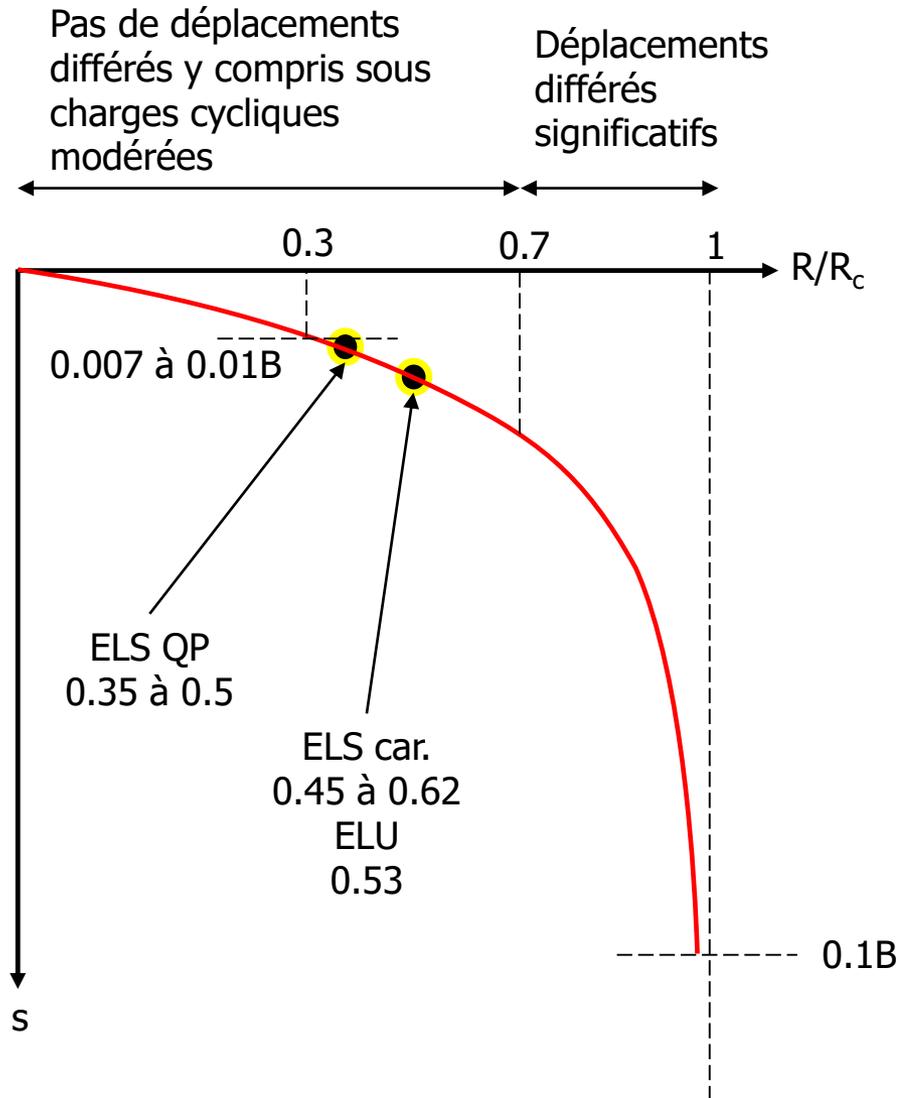
Cas des fondations superficielles



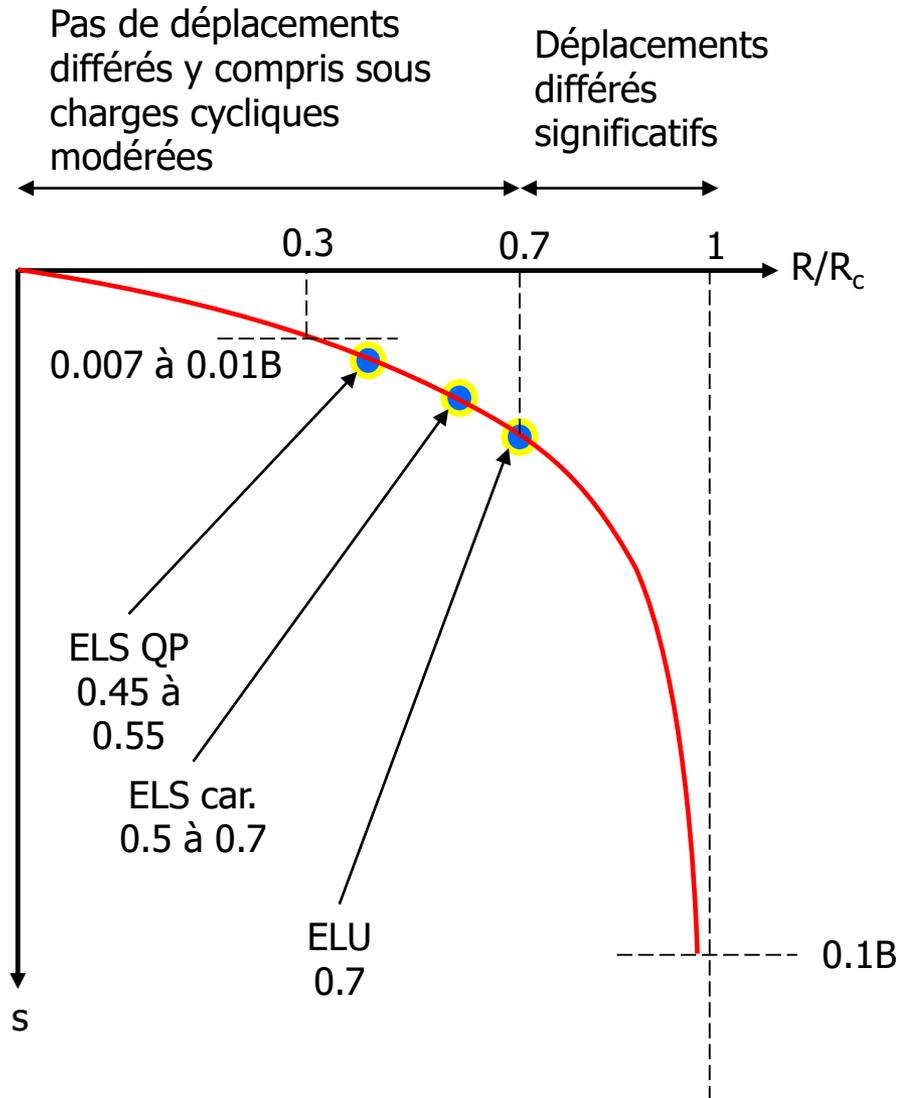
Cas des fondations superficielles - Optimisation



Cas des fondations profondes



Cas des fondations profondes - Optimisation



Conclusions

L'Eurocode 7 et ses normes d'application nationale agissent à trois niveaux en ce qui concerne l'optimisation des ouvrages géotechniques en donnant :

- un cadre avec différents leviers d'actions ;
- des seuils toujours susceptibles d'évoluer ;
- des facteurs partiels qui ne doivent pas être vus comme des valeurs intangibles : ces coefficients traduisent une certaine physique des phénomènes et peuvent faire l'objet d'adaptations ou de changements.

Les normes permettent de donner un cadre à l'optimisation des ouvrages géotechniques :

- l'absence de cadre serait sans doute préjudiciable ;
- les normes sont « seulement » des documents techniques à appliquer dans le cadre d'un contrat et ce cadre doit donc être vu comme avec une certaine souplesse par les différents acteurs du projet.

*MERCI
DE VOTRE
ATTENTION*