

Introduction générale

PLAXIS 2D est aujourd'hui l'un des outils les plus utilisés en ingénierie géotechnique pour l'analyse du comportement des sols et des ouvrages. Basé sur la méthode des éléments finis, il permet de simuler les phénomènes complexes : stabilité de talus, tassements, contraintes, déformations, pressions interstitielles, écoulements d'eau, etc.

Ce chapitre présente trois domaines fondamentaux dans lesquels PLAXIS 2D s'impose comme un outil d'analyse performant :

1. Analyse de la stabilité des talus naturels ou artificiels et calcul du coefficient de sécurité (FOS).
2. Analyse contrainte-déformation des ouvrages géotechniques.
3. Modélisation des écoulements et des pressions interstitielles dans les sols, notamment dans les ouvrages hydrauliques.

L'objectif est d'introduire les principes généraux, la démarche méthodologique, les modèles numériques employés et l'interprétation des résultats.

1. Analyse de la stabilité des talus dans PLAXIS 2D

La stabilité des pentes naturelles et artificielles constitue un enjeu majeur dans les projets de génie civil, miniers, routiers ou hydrauliques. PLAXIS 2D offre deux approches complémentaires pour évaluer la stabilité :

- La méthode des éléments finis (FEM) avec l'approche de réduction des résistances (ϕ -c reduction).
- Les méthodes classiques d'équilibre limite (LEM) intégrées sous PLAXIS LE ou via le module Slope**.

1.1 Modélisation du talus

La construction du modèle implique :

- Définition de la géométrie du talus (naturel, remblai, déblais, digue).
- Introduction des strates géologiques avec leurs propriétés (γ , E, c' , ϕ' , k...).
- Choix d'un modèle de comportement (Mohr-Coulomb, Hardening Soil, etc.).
- Définition des conditions aux limites (blocage horizontal sur les côtés, blocage vertical à la base).
- Définition du niveau phréatique et des surpressions éventuelles.

1.2 Analyse par la méthode éléments finis – Réduction ϕ -c

PLAXIS utilise une procédure numérique appelée "phi-c reduction", consistant à :

- Réduire progressivement les paramètres de résistance au cisaillement :
 - $c_{red} = \frac{c'}{F}$
 - $\tan(\phi_{red}) = \frac{\tan(\phi')}{F}$
- Effectuer un calcul élasto-plastique à chaque incrément.
- Identifier la valeur du facteur de sécurité F pour laquelle le modèle ne converge plus (déformation excessive, zone plastique généralisée).

1.3 Interprétation des résultats de stabilité

Les résultats essentiels sont :

- Le coefficient de sécurité (FOS) obtenu par réduction c- ϕ .
- Les mécanismes de rupture visualisés par les zones plastiques.
- Les déplacements du sol dans la phase de rupture simulée.
- Les déformations localisées, souvent interprétées comme surface de glissement.

Cette méthode offre une vision réaliste car elle prend en compte la déformation progressive du sol.

1.4 Méthodes d'équilibre limite (LEM)

PLAXIS 2D peut aussi intégrer l'analyse LEM traditionnelle (Bishop, Janbu, Spencer). Ces méthodes :

- Supposent une surface de rupture prédéfinie.
- Évaluent l'équilibre moment-force sur une série de tranches.
- Donnent un FOS basé sur des équations analytiques.

Comparaison rapide :

Critère	FEM (Réduction ϕ -c)	LEM
Déformations prises en compte	Oui	Non
Surface de rupture	Émerge du calcul	Définie ou recherchée
Hétérogénéité	Très bon	Limité
Charges complexes	Bien intégré	Moins adapté

2. Analyse en contrainte-déformation

L'analyse contrainte-déformation est centrale pour l'évaluation des tassements, des contraintes, de la plastification et de la réponse mécanique sous charges. Elle est indispensable pour :

- Fondations superficielles et profondes
- Excavations et tranchées
- Digue, remblais, plateformes
- Interactions sol-structure

2.1 Construction du modèle éléments finis

Les étapes essentielles sont les suivantes :

1. Définition de la géométrie et des structures (semelle, pieux, parois, terrassements...).
2. Définition des caractéristiques mécaniques du sol
 - Modules : E_{ref} , E_{oed}
 - Résistance au cisaillement : c' , ϕ'
 - Paramètres de compressibilité et dilatance
 - Perméabilité : k_x , k_y
3. Choix du modèle de comportement
 - Mohr-Coulomb
 - Hardening Soil (plus réaliste pour tassements)
 - Soft Soil (sols compressibles saturés)
4. État initial

- Utilisation de la procédure K0 pour générer les contraintes effectives initiales.

5. Conditions aux limites

- Côtés : déplacements horizontaux bloqués.
- Base : déplacements verticaux bloqués.

6. Maillage

- Raffinement local autour des zones sollicitées (fondation, structure...).

2.2 Phasage de construction

Le phasage reproduit l'évolution réelle de l'ouvrage :

- Excavations
- Mise en place d'un remblai
- Application d'une charge
- Mise en service
- Variation du niveau d'eau

L'analyse FEM fournit :

- Déplacements horizontaux et verticaux
- Tassements
- Déformations totales
- Contraintes totales et effectives
- Pressions interstitielles
- Zones plastiques

2.3 Analyse des tassements

PLAXIS permet d'obtenir :

- Le tassement instantané (composante élastique).
- Le tassement différé (sols compressibles, consolidation).
- Le profil de tassements en surface.
- Le développement des contraintes sous la fondation.

2.4 Contraintes totales et effectives

PLAXIS sépare :

- Les contraintes totales σ .
- Les pressions interstitielles u .
- Les contraintes effectives $\sigma' = \sigma - u$.

Cette distinction est essentielle pour comprendre le comportement plastique, la rupture, la consolidation et les glissements potentiels.

3. Modélisation des écoulements et pressions interstitielles

Les écoulements d'eau dans les sols ont un impact direct sur :

- La stabilité des talus
- Les digues et barrages
- Les ouvrages enterrés
- Les soutènements
- Les fondations en zones saturées

PLAXIS 2D intègre un module de flow analysis basé sur la résolution de l'équation de Darcy.

3.1 Types d'écoulements modélisés

- Écoulement permanent (steady-state)
 - Appliqué aux barrages, canaux, zones saturées stables.
- Écoulement transitoire
 - Variation du niveau d'eau
 - Drainage, infiltration, consolidation
 - Pluie intense ou montée de nappe

3.2 Paramètres hydrauliques nécessaires

- Perméabilité : k_x, k_y
- Modèle de perméabilité non saturé (fonction degré de saturation)
- Niveau d'eau initial
- Conditions hydrauliques en frontières (drain, pression imposée, tête hydraulique, flux entrant/sortant)

3.3 Modélisation des barrages et digues

Dans le cas d'un barrage en terre, PLAXIS permet :

- La simulation de l'écoulement à travers le noyau.
- Le calcul de la surface libre, des jaillissements, des flux infiltrants.
- L'évaluation des pressions interstitielles internes.
- L'analyse de la stabilité en conditions saturées.

On peut ainsi déterminer :

- Les zones de forte infiltration.
- Le risque d'érosion interne ou de "piping".
- Les pressions pouvant réduire les contraintes effectives.

3.4 Analyse couplée : écoulement + déformation

PLAXIS permet des analyses où :

- Le champ d'écoulement influence les contraintes.
- Les déformations modifient la perméabilité.
- La montée de la nappe réduit les contraintes effectives et peut déclencher la rupture.

Ce couplage est essentiel pour comprendre :

- La consolidation
- Les effondrements peuvent être liés à une perte de σ'
- Les glissements après pluie
- Les ruptures de barrage par saturation

Conclusion

Ce premier chapitre a présenté les fondements de la modélisation géotechnique avancée dans PLAXIS 2D selon trois axes essentiels :

1. La stabilité des talus, évaluée par les méthodes FEM et LEM.
2. L'analyse contrainte-déformation, indispensable pour les ouvrages géotechniques.
3. La modélisation des écoulements et des pressions interstitielles, essentielle pour les ouvrages hydrauliques et les pentes saturées.

Ces trois approches constituent le cœur des analyses modernes en géotechnique. La maîtrise de ces concepts ouvre la voie à une modélisation réaliste, cohérente et fiable des projets complexes.