

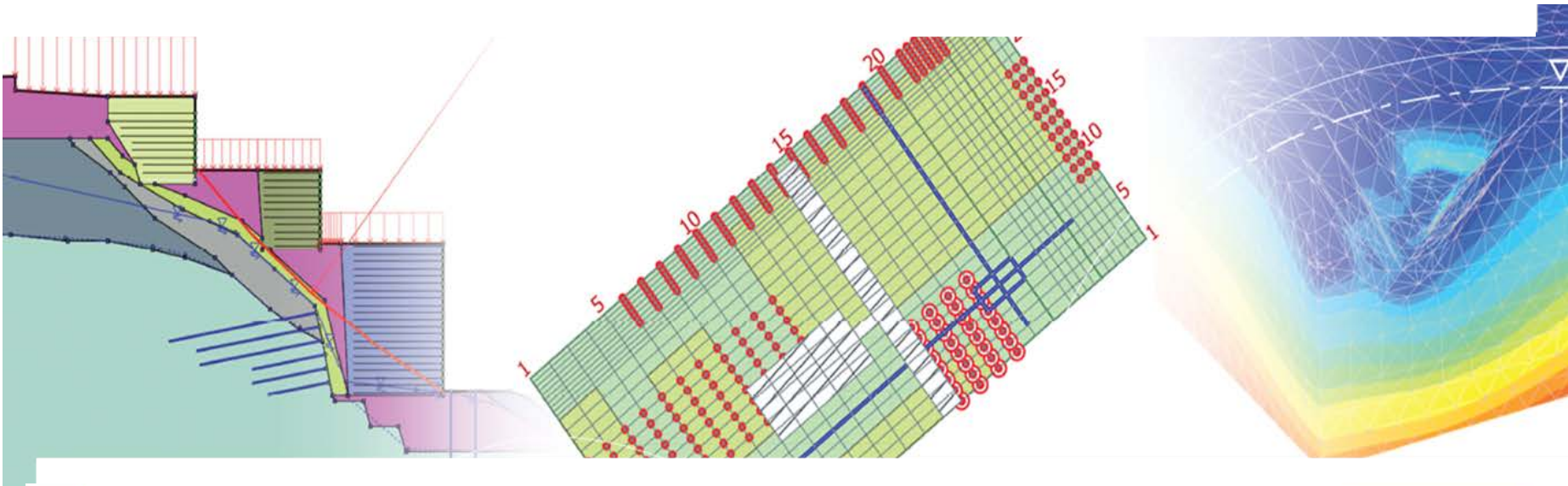


# Talren v5



terrasol

setec



Talren v5



Foxta v3



K-Réa v4



Straticad





- 1** Introduction
- 2** Les principaux types de données
- 3** Les principaux types de résultats



# Introduction

**Talren** est un logiciel permettant la vérification de la stabilité d'ouvrages géotechniques, avec ou sans renforcements.

**Talren permet d'étudier :**

- les pentes naturelles,
- les pentes de déblais/remblais,
- les ouvrages en terre et les digues,

**En prenant en compte différents types de renforcements :**

- tirants précontraints,
- clous,
- pieux et micropieux,
- géotextiles,
- géogrilles,
- Terre armée, treillis et bandes en polymères,
- butons.



**Géométrie**

**Caractéristiques des sols**

**Surcharges**

**Renforcements**

**Conditions hydrauliques**

**Accélérations sismiques**

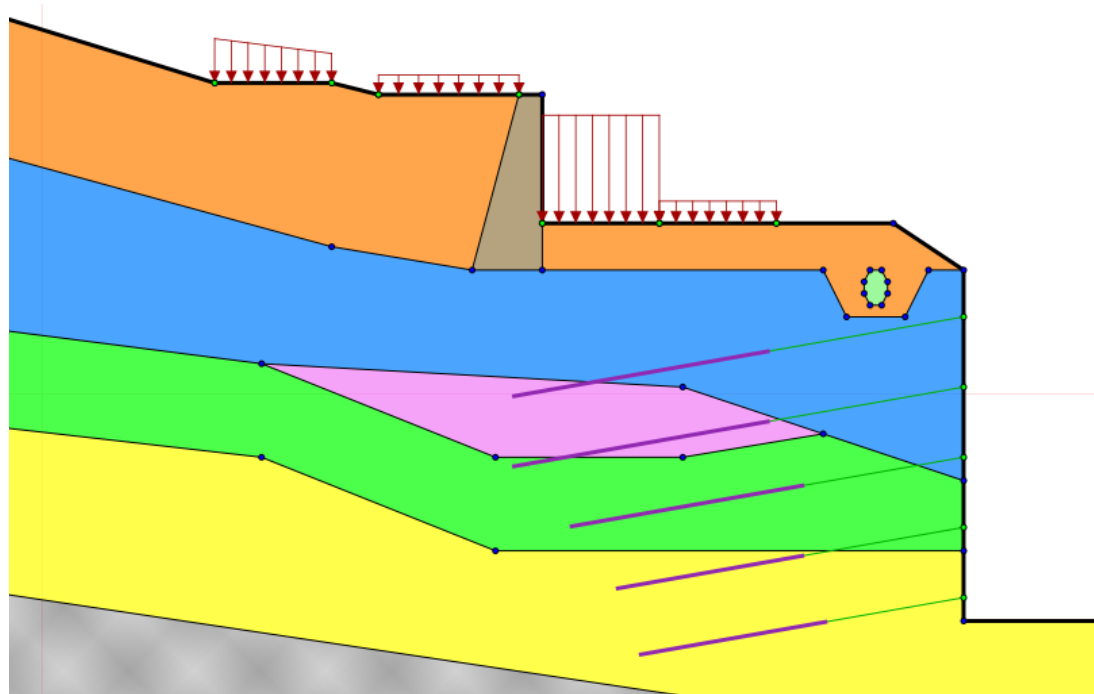
**Coefficients partiels**

**Options de calcul**

# Géométrie du projet



- La géométrie peut être complexe.
- **Orientation du modèle** : amont à gauche (rupture de la gauche vers la droite).

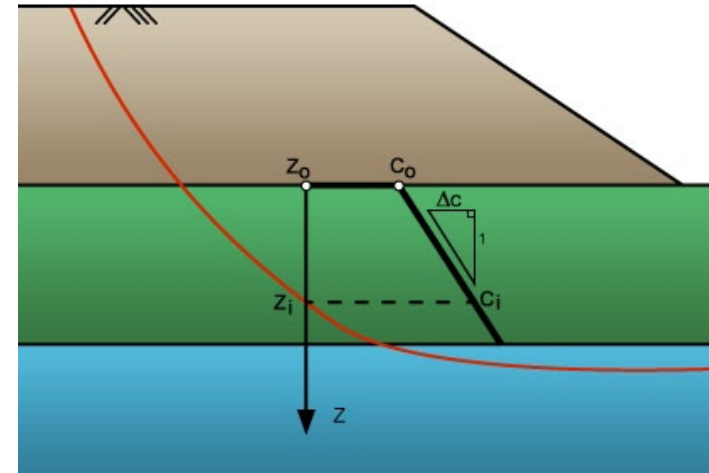


# Caractéristiques de sol



Données obligatoires :  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $c$ ,  $\Delta c$ .

Nom	Couche 1		
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,0	<input type="checkbox"/> Favorable	
c (kPa)	0,0	$\Delta c$ (kPa/m)	0,0
Cohésion	Effective		
<input type="checkbox"/> Anisotropie	...		
$\varphi$ (°)	25,00		
Courbe	Linéaire		
<input type="checkbox"/> Forcer l'affichage de tous les paramètres relatifs aux clous			



Si des clous traversent la couche :

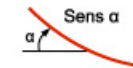
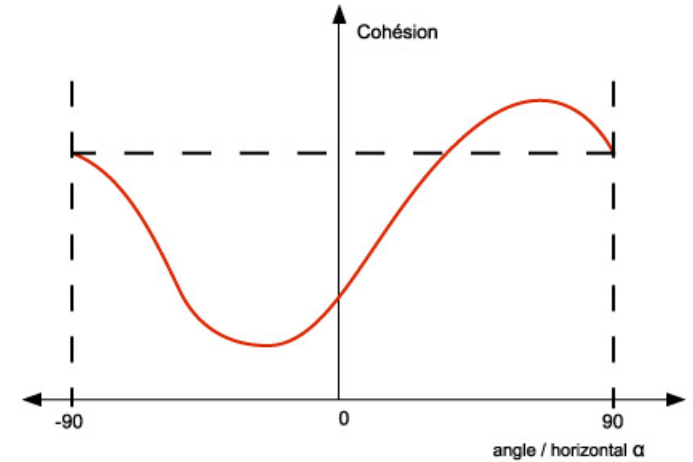
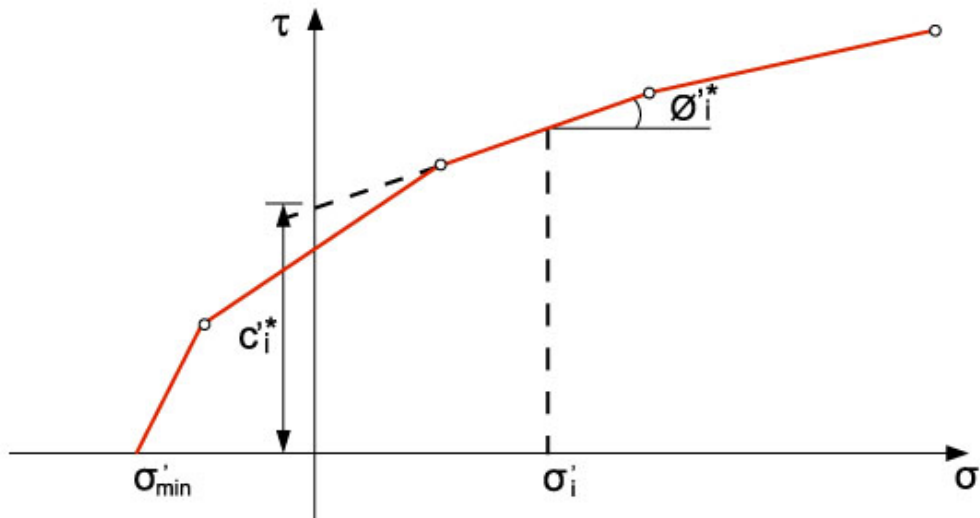
- $q_s$  clous : frottement (traction)
- $p_l$  : pression limite (cisaillement)
- $K_s B$  (cisaillement)

<input checked="" type="checkbox"/> Forcer l'affichage de tous les paramètres relatifs aux clous	
$q_{s\text{ clous}}$ (kPa)	0,0
$p_l$ (kPa)	0,0
$K_s B$ (kPa)	0,0

## Options

Anisotropie de cohésion.

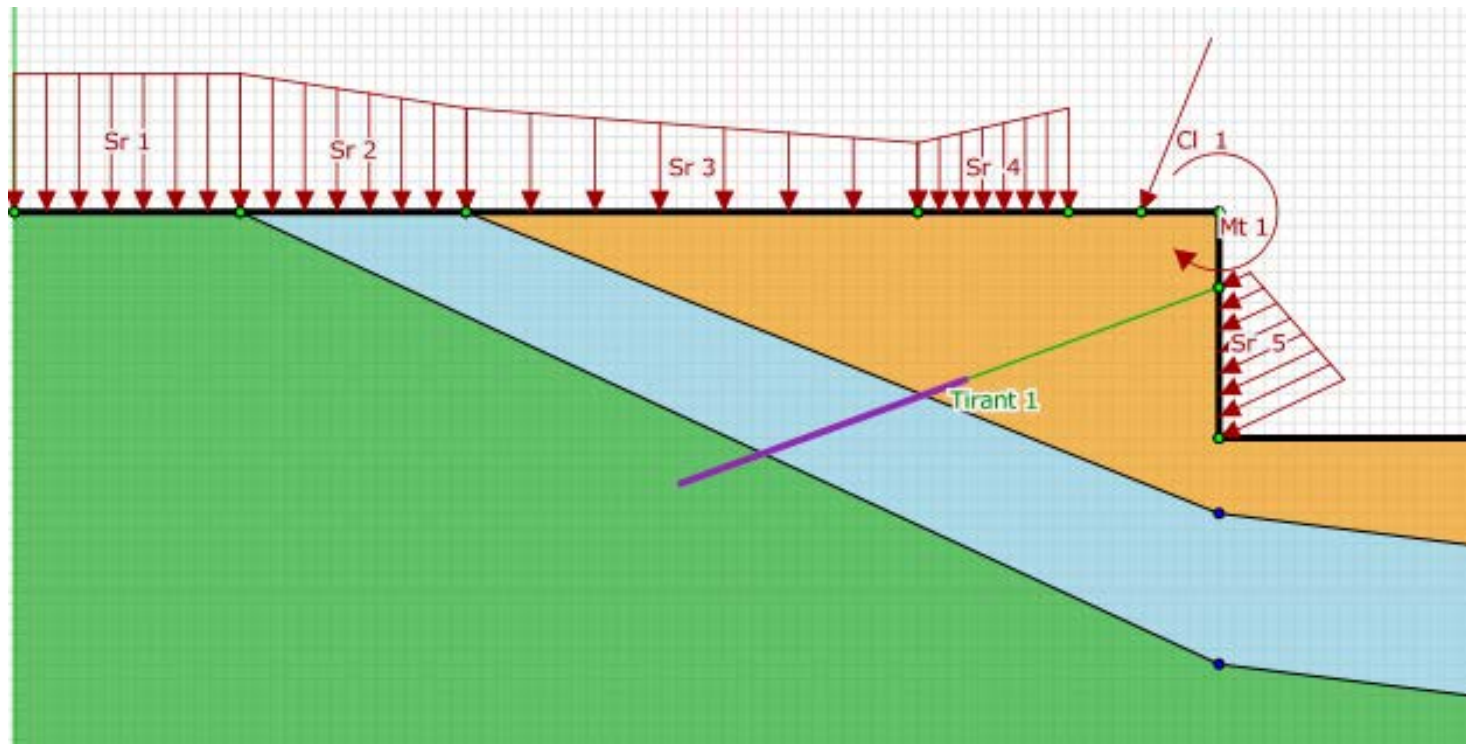
Courbe non-linéaire  
(non compatible avec le calcul à la rupture).



# Surcharges



- Charges réparties (sur le contour) verticales sauf calcul à la rupture.
- Charges linéaires (position & inclinaison quelconques).
- Moments additionnels.





## 4 types pour modéliser l'ensemble des renforcements

Type	Apports en terme de résistance mobilisable	Interaction sol/ renforcement
Clous	Traction+cisaillement	sol / clou
Tirants	Traction	sol / tirant
Bandes	Traction	sol / bande
Butons	Compression	Pas d'interaction

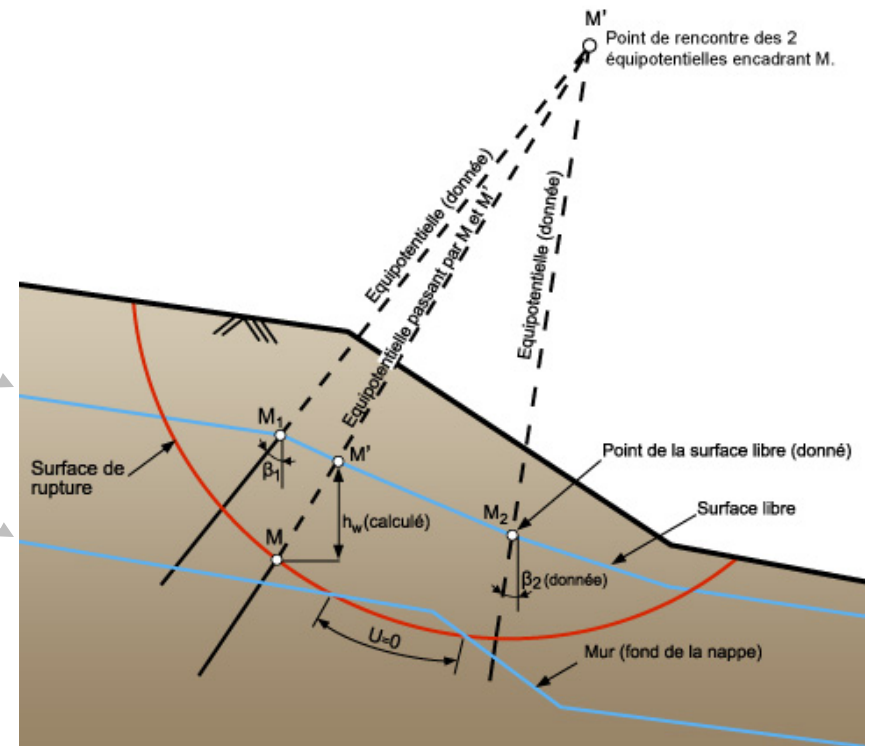
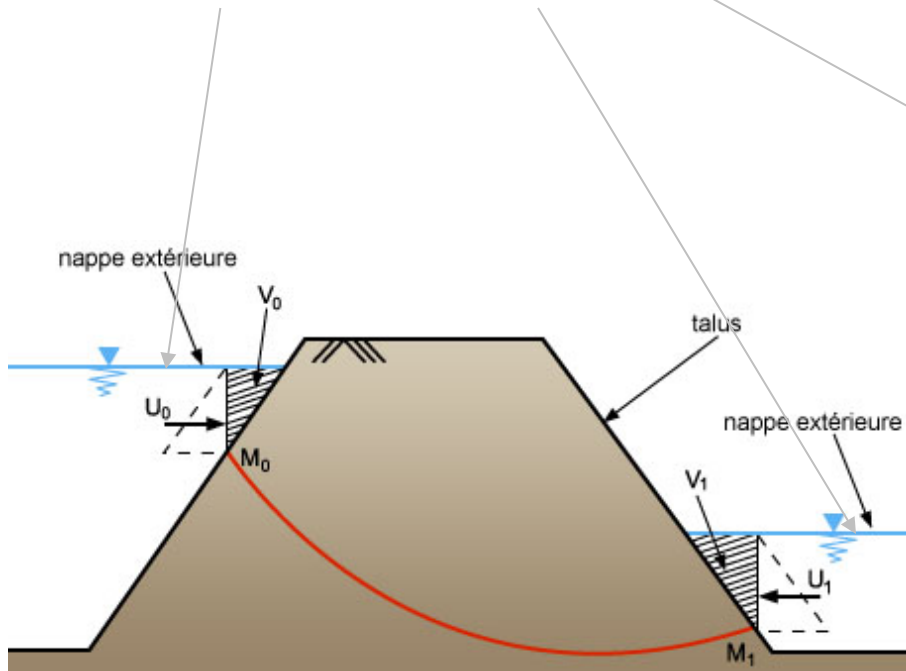


## 4 options

- **Nappe phréatique (hydrostatique)**
- **Pressions le long d'une surface de rupture polygonale**
- **Maillage de pressions interstitielles**
- **Coefficients  $r_u$**

## Nappe phréatique (hydrostatique)

- Toit de la nappe
- Fond de nappe
- Nappe extérieure

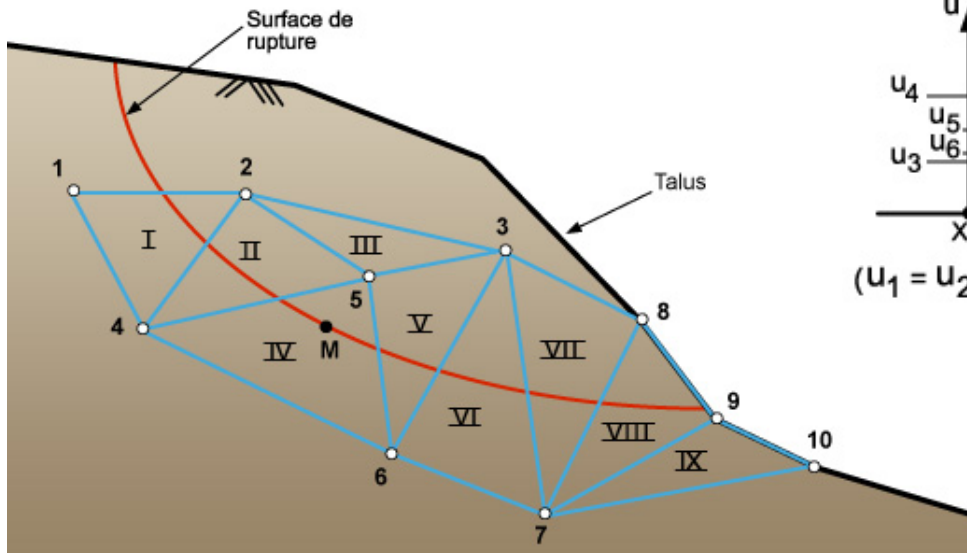
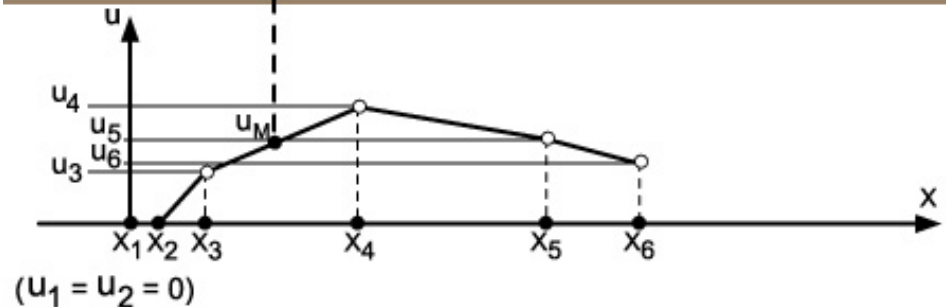
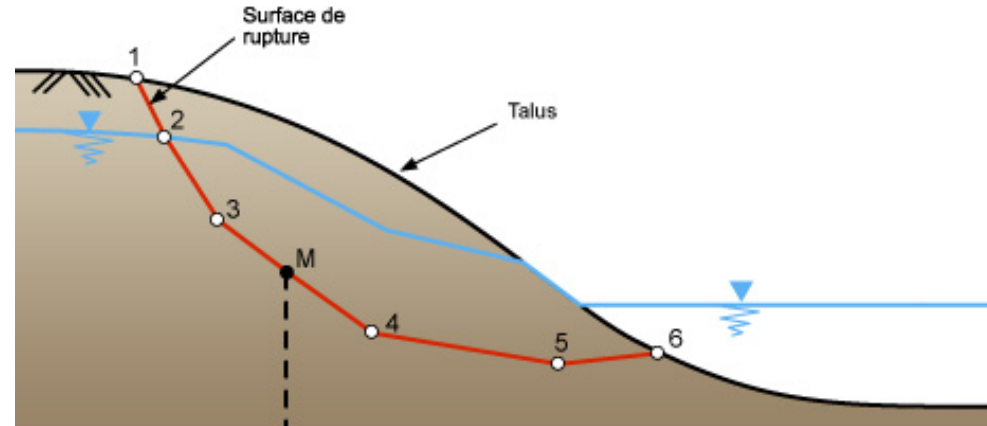


## Attention !

Le toit de la nappe doit **toujours** être défini entre les Bornes  $X_{min}$  et  $X_{max}$  du modèle. La nappe extérieure vient ensuite se superposer à ce toit.

## Pressions le long d'une surface de rupture polygonale

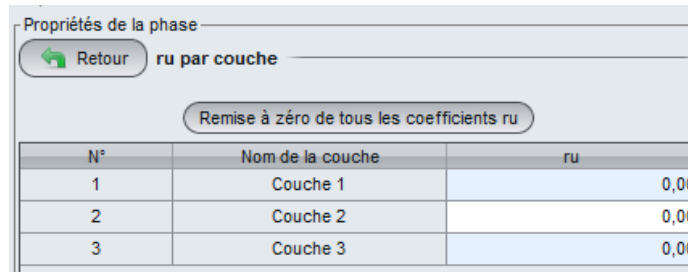
- L'option sélectionnée dans la définition des conditions hydrauliques.
- Les valeurs de  $u$  sont définies en même temps que la surface de rupture quelconque.



- Maillage de pressions  
Défini manuellement ou  
importé de Plaxis:

## Coefficients $r_u$ (prise en compte de gradients hydrauliques verticaux)

- Définis pour chaque couche de sol.
- Les valeurs peuvent être différentes d'une couche à l'autre.
- Valeur par défaut = 0 (pas de coefficient  $r_u$  pris en compte).



The screenshot shows a software interface titled 'Propriétés de la phase'. It contains a 'Retour' button with a left arrow, a label 'ru par couche', and a 'Remise à zéro de tous les coefficients ru' button. Below is a table with three columns: 'N°', 'Nom de la couche', and 'ru'. The table has three rows, each with a value of 0,00 in the 'ru' column.

N°	Nom de la couche	ru
1	Couche 1	0,00
2	Couche 2	0,00
3	Couche 3	0,00

### Lors des calculs

- Dans les couches avec  $r_u \neq 0$  :  $u = r_u \cdot \gamma \cdot h$
- Dans les couches avec  $r_u = 0$  : les autres conditions hydrauliques éventuellement définies sont prises en compte. Par exemple, si une nappe phréatique est définie, elle sera prise en compte pour le calcul de  $u$  dans les couches avec  $r_u = 0$ .

Attention, l'option  $r_u$  ne peut pas être combinée avec une nappe extérieure.

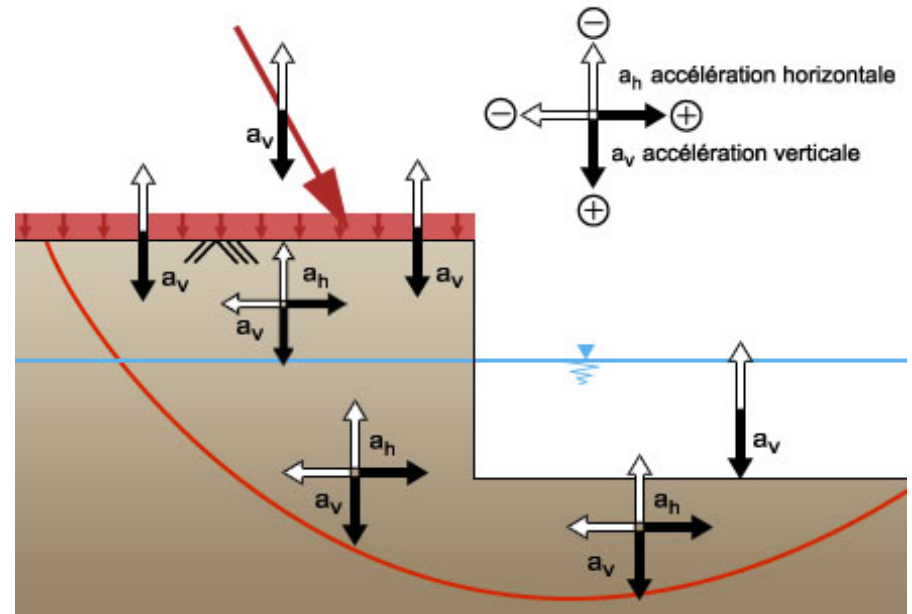
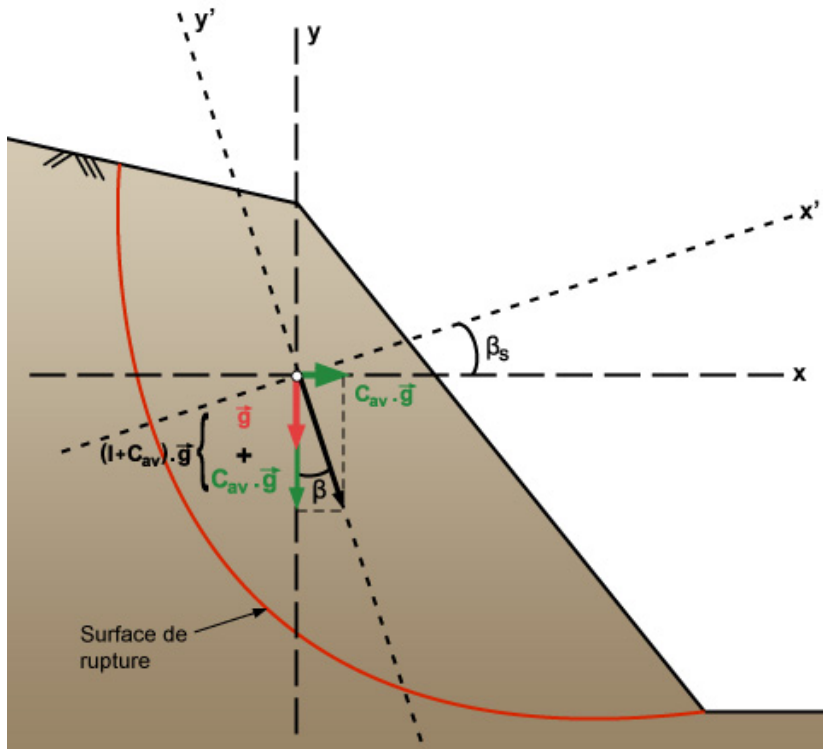
# Sismique : méthode pseudo-statique



## Gravité affectée d'accélération horizontale et verticale

$c_{ah}(\sigma_h)$  coefficient de l'accélération horizontale

$c_{av}(\sigma_h)$  coefficient de l'accélération verticale



Sur un site: les 4 combinaisons de signes possibles doivent être étudiées

Talren: instabilité vers la droite  
On se contente de 2 combinaisons

Condition de stabilité le long d'une surface de rupture potentielle:

$$\Gamma = \frac{\tau_{\max}(G, Q, G_w, \varphi, c, F_r)}{\tau(G, Q, G_w, F_r)} \geq 1$$

Des incertitudes existent:

- Sur les actions G, Q, Gw
- Sur les paramètres de cisaillement (c, φ)
- Sur les effets des renforcements et leur prise en compte
- Sur la représentativité de la forme de la surface de rupture considérée
- Sur les calculs des cisaillements mobilisés et mobilisables

On recherche une sécurité permettant de palier ces incertitudes:

- Recherche d'un coefficient global suffisamment élevé (approche traditionnelle  $\Gamma > 1,5$  ou  $\Gamma > 1,3$  pour les phases provisoires)
- Pondérations partielles (approche Eurocodes)

$$\tau(G, Q, G_w, F_r) \leq \tau_{\max}(G, Q, G_w, \tan \varphi, c, F_r)$$

Plusieurs approches:

- **Approche 1** – non utilisée en France
  - 1a: pondération des actions, pas de pondération des paramètres de sol, pas de pondération des résistances
  - 1b: pas de pondération des actions, pondération des paramètres de sol, pas de pondération des résistances
- **Approche 2**
  - pondération des actions, pas de pondération des paramètres de sol, pondération des résistances
- **Approche 3**
  - Pas de pondération des actions, pondération des paramètres de sol, pas de pondération des résistances



# Coefficients partiels



Jeux de coefficients de sécurité du projet (4)

Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Nom	Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant	
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ 1,400
$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$ 1,000
$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$
$\Gamma_{\varphi}$	1,250	$\Gamma_{pl}$
$\Gamma_c$	1,250	$\Gamma_{a,clou}$
$\Gamma_{cu}$	1,400	$\Gamma_{a,tirant}$
$\Gamma_Q$	1,300	$\Gamma_{a,bande}$
$\Gamma_{qsl,clou,ab}$		$\Gamma_{buton}$
$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{s3}$

### Assistant pondération clou

Paramètres utilisateur

$f_y$  - valeur caractéristique de la limite d'élasticité (kPa)

$f_r$  - valeur caractéristique de la limite de rupture (kPa)

$S_0$  - section du clou non corrodée (m<sup>2</sup>)

$P_0$  - périmètre de la section du clou (m)

Force corrosive du sol: Clou protégé contre la corrosion

t - durée de vie de l'ouvrage (années)

Résultats

$\Gamma_{a,clou}$  - coefficient de sécurité sur la résistance structurale des clous **1,250**

$\sigma_{lim}$  - limite élastique (kPa)

Annuler Envoyer

Exemple: Table Eurocode  
avec assistant pondération clou

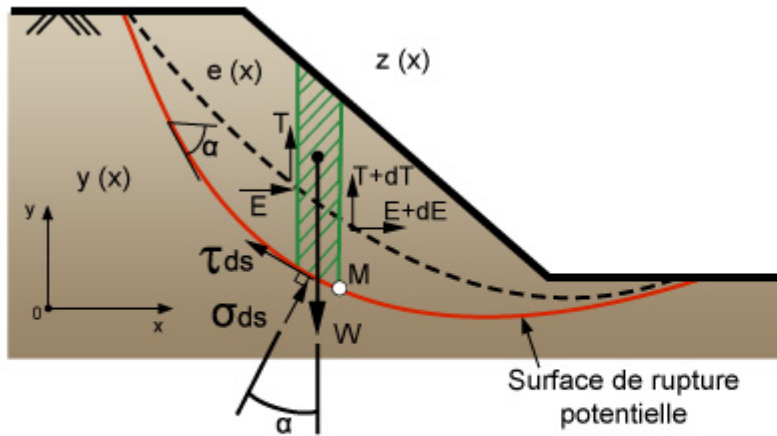
## 4 options

- **Méthode des tranches :**
    - Fellenius
    - Bishop
  - **Méthode globale :**
    - Perturbations
  - **Calcul à la rupture** (spirales logarithmiques)
- Méthodes d'analyse d'équilibre limite*

# Méthodes de calcul- analyse limite



- Cas général : méthode des tranches



Equilibre d'une tranche :

$$\begin{cases} O_x : dE + \sigma \sin \alpha ds + \tau \cos \alpha ds = 0 & (1) \\ O_y : dT + \sigma \cos \alpha ds - \tau \sin \alpha ds = \gamma h dx & (2) \end{cases}$$

$$h = z - y(x)$$

$$ds = \frac{dx}{\cos \alpha}$$

Moment / M

$$T + E \frac{de}{dx} + (e - y) \frac{dE}{dx} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} + \boxed{\text{Conditions aux limites}} + \boxed{\left( \tau = \frac{c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi'}{F} \right)}$$



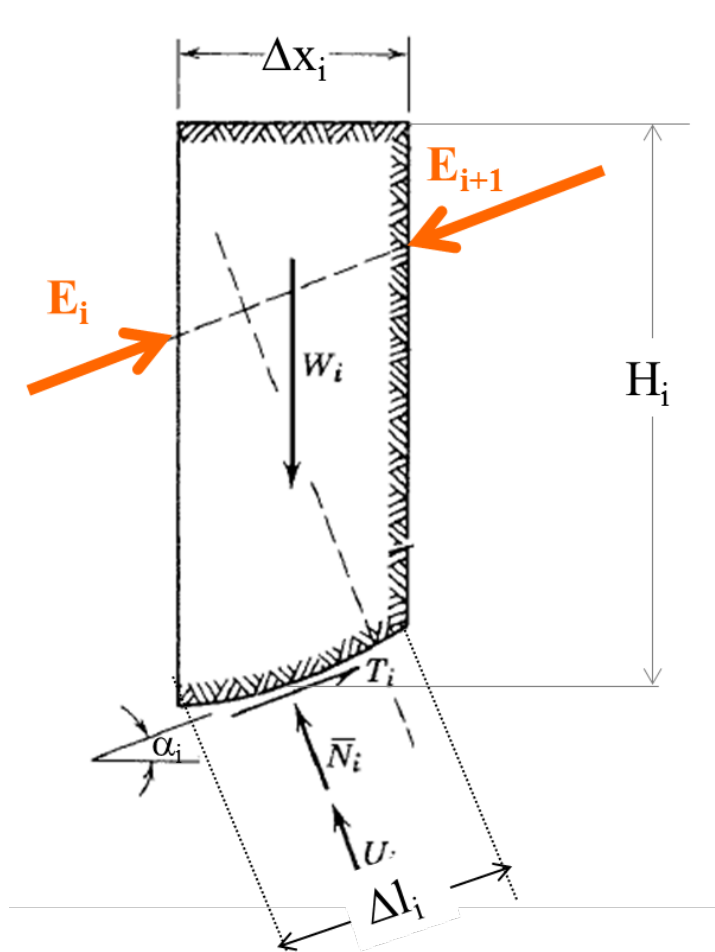
$$\left. \begin{matrix} \sigma(x) \\ T(x) \\ E(x) \\ e(x) \\ F \end{matrix} \right\} \text{4 fonctions inconnues}$$

Condition de frottement limite en base de tranche

# Méthodes de calcul- analyse limite



- Cas général : méthode des tranches / modèle de Fellenius



Réaction inter-tranche parallèle  
à la base de chaque tranche

$$N_i' = W_i \cos \alpha - U_i$$

$$\Delta l_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}$$

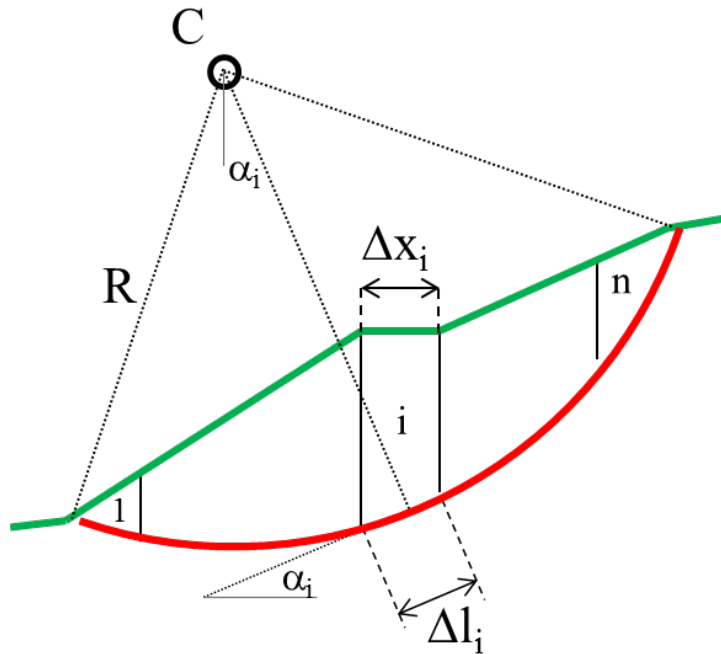
$$\sigma' = \gamma H_i \cos^2 \alpha_i - u_i$$

$$\tau = (\gamma H_i \cos^2 \alpha_i - u_i) \frac{\tan \varphi_i'}{F} + \frac{c_i'}{F}$$

# Méthodes de calcul- analyse limite



- Cas général : méthode des tranches / modèle de Fellenius



□ Moment résistant

$$M_R = \frac{R}{F} \sum_1^n [(\gamma H_i \cos^2 \alpha_i - u) \tan \varphi_i' + c_i'] \Delta l_i$$

□ Moment moteur

$$M_M = R \sum_1^n \gamma H_i \sin \alpha_i \Delta x_i$$

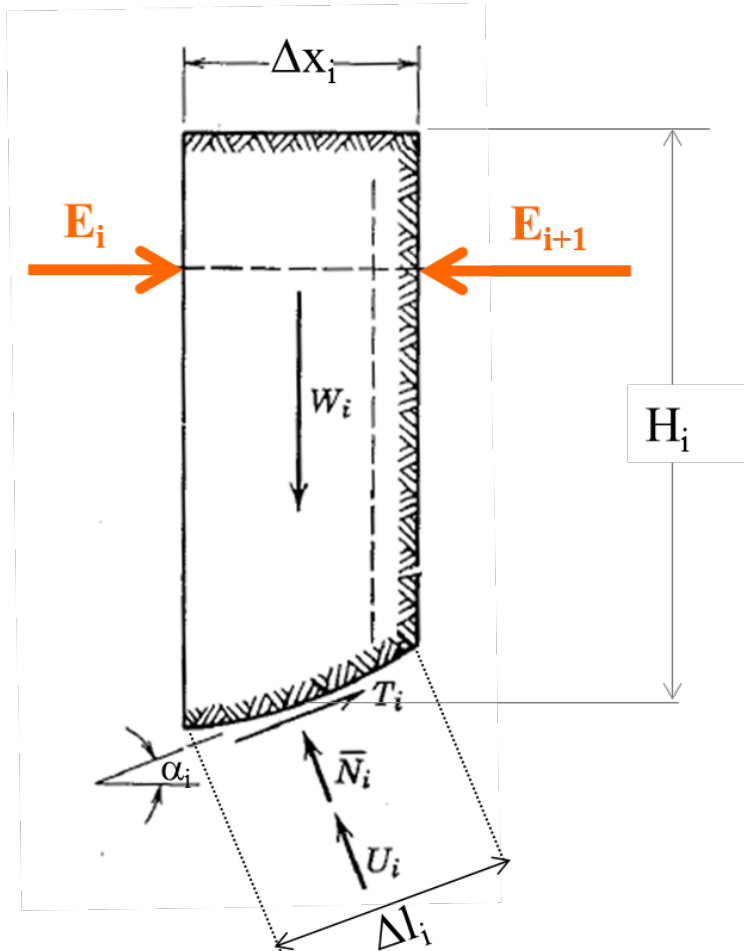
□ Equilibre des moments  $M_R = M_M$

$$F = \frac{\sum_1^n [(\gamma H_i \cos^2 \alpha_i - u_i) \tan \varphi_i' + c_i'] \Delta l_i}{\sum_1^n \gamma H_i \sin \alpha_i \Delta x_i}$$

# Méthodes de calcul- analyse limite



- Cas général : méthode des tranches / modèle de Bishop



Réactions inter-tranches horizontales

$$(N'_i + U_i) \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i$$

$$\Delta l_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}$$

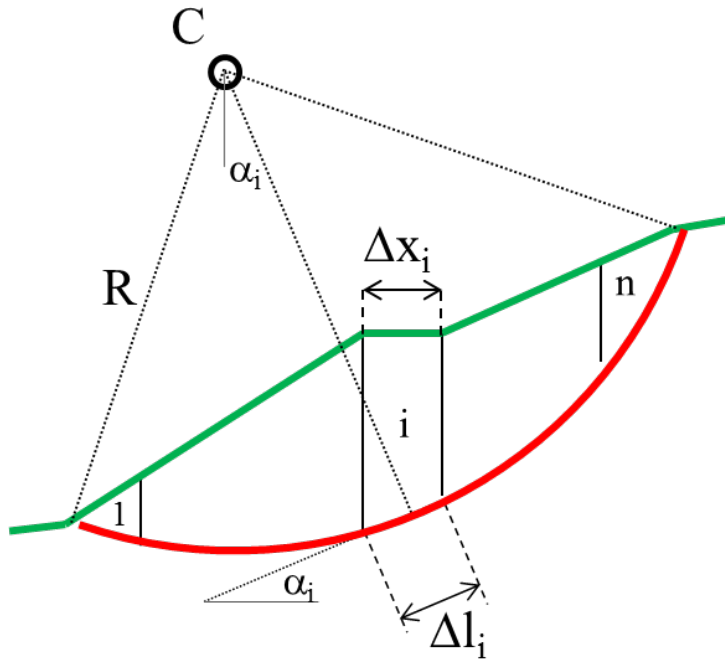
$$\sigma' + \tau \tan \alpha_i = \gamma H_i - u_i$$

$$\tau = \sigma' \frac{\tan \varphi'_i}{F} + \frac{c'_i}{F}$$

# Méthodes de calcul- analyse limite



- Cas général : méthode des tranches / modèle de Bishop



□ Moment résistant

$$M_R = \frac{R}{F} \sum_1^n [(\gamma H_i - u_i) \tan \varphi'_i + c'_i] \frac{\Delta l_i}{m(\alpha_i, F)}$$

□ Moment moteur

$$M_M = R \sum_1^n \gamma H_i \sin \alpha_i \Delta x_i$$

□ Equilibre des moments  $M_R = M_M$

$$F = \frac{\sum_1^n [(\gamma H_i - u_i) \tan \varphi'_i + c'_i] \Delta l_i / m(\alpha_i, F)}{\sum_1^n \gamma H_i \sin \alpha_i \Delta x_i}$$

# Méthode de calcul des perturbations



**Méthode globale : Perturbations** (Raulin, Rouques, Toubol, LCPC 1974)

Méthode globale  $\neq$  méthode des tranches

$$\sigma'_{FeI} = \left[ \gamma h \cos^2 \alpha + \frac{du}{dx} \sin \alpha \cos \alpha - u \right] [\lambda + \mu (\operatorname{tg} \alpha)^n]$$

avec  $n=1$  ou  $2$

$\Rightarrow$  3 équations

3 inconnues:  $\lambda, \mu, F$

$$\Rightarrow a_0 F^3 + a_1 F^2 + a_2 F + a_3 = 0$$

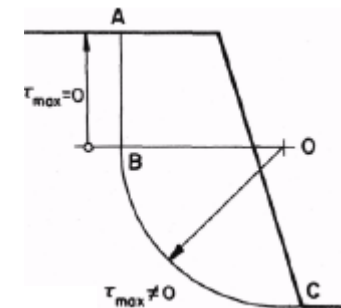
$\Rightarrow F$

$\lambda (-1)$

$\mu (-0)$

Résultats proches des méthodes des tranches

Permet de gérer plus 'finement' les ruptures circulaires étendues



Toutes les équations de l'équilibre sont satisfaites.





- **Théorie du calcul à la rupture: J. Salençon, 1983**
- **Approche cinématique par l'extérieur:**
  - Définition d'un champ de vitesse  $\underline{V}$  cinématiquement admissible,
  - Calcul de la puissance des efforts extérieurs  $P_e$  au système dans ce champ de vitesse (poids, charges...)
  - Calcul d'un majorant  $P_{rm}$  de la puissance des efforts internes dans ce champ ( $P_{rm}$  défini sur la base du critère de rupture du matériau)
  
- **Pour un champ de vitesse  $\underline{V}$ :**
  - Si  $P_e > P_{rm}$  instabilité assurée
  - Si  $P_e < P_{rm}$  ??? Choix du champ de vitesse? Efficacité du majorant?

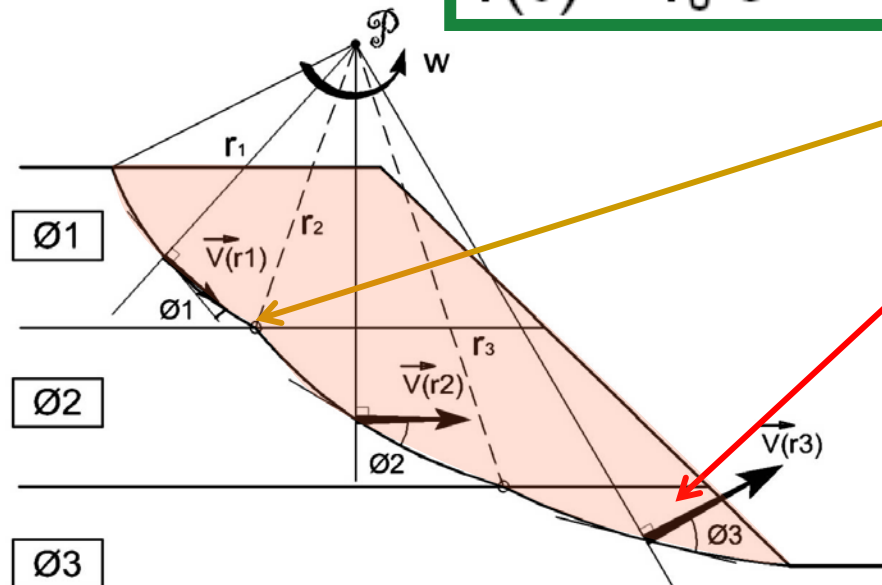
# Méthode du calcul à la rupture

- **Stabilité de pente, cas particulier:**

- Mouvement rigidifiant (glissement d'un bloc indéformable: rotation + translation),
- Rupture suivant le critère de Mohr Coulomb

→ Etude de blocs délimités par des successions de spirales log (Cf.Salençon) de même pôle mais de rayon dépendant de l'angle de frottement du sol

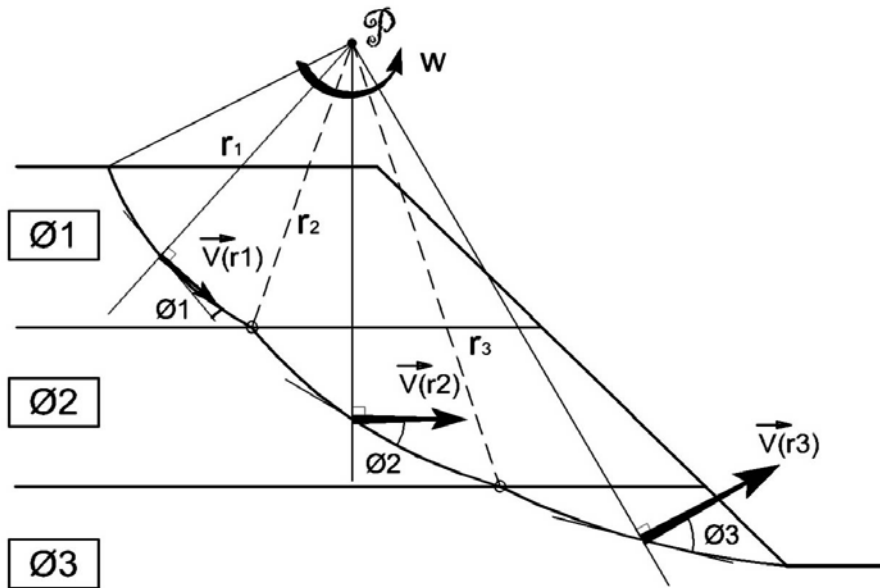
$$r(\theta) = r_0 e^{\theta \tan \phi}$$



Discontinuité au changement d'horizon

Pas une surface de glissement, vitesses non perpendiculaires à la frontière du bloc

# Méthode du calcul à la rupture



F facteur de confiance

$$F = \frac{P_e}{P_{rm}} = \frac{M_e}{M_{rm}}$$

$F < 1$  Instabilité assurée

$F > 1$  Stabilité présumée

$$F = \frac{M_e}{M_{rm}} \neq \frac{\tau_{\max}}{\tau} = \Gamma$$

**F n'est pas le coefficient de sécurité au sens classique en géotechnique**

Pour estimer la sécurité mobilisable on pondère la résistance des sols (c et  $\varphi$ )  
Coefficient XF dans Talren

# Méthode du calcul à la rupture



## Comparaison avec les méthodes de calcul «classiques» :

### Exemple

Talus H = 7 m,  $\beta = 49,4^\circ$

Couche unique  $\phi = 20^\circ$ ,  $c = 10$  kPa

### *Calcul à la rupture*

Spirale angle au centre  $110^\circ$

Calcul sans pondération partielle

$\Gamma_\phi = 1$ ,  $\Gamma_c = 1$

**Résultat : F = 2,39**

(coefficient de rupture  
ou facteur de confiance)

### *Calcul à la rupture*

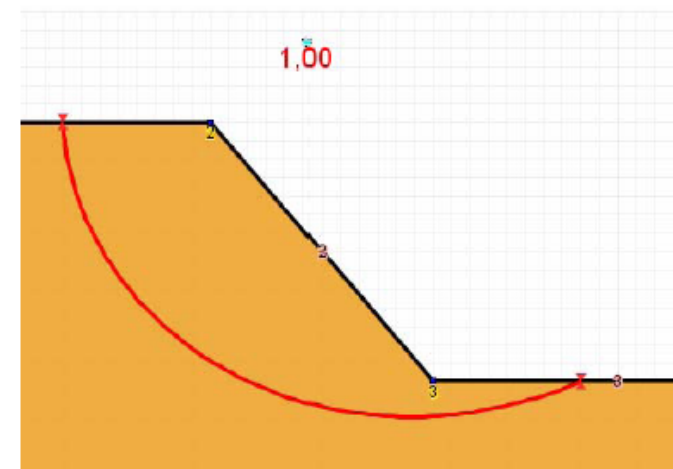
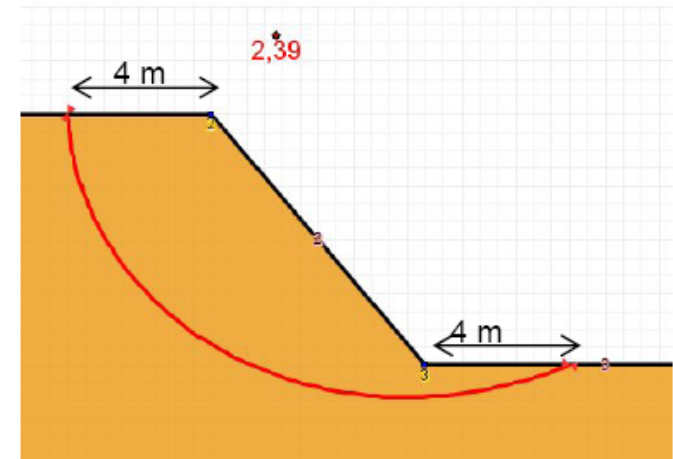
Introduction de la pondération  
supplémentaire XF sur  $\tan\phi$  et c

$\Gamma_\phi = XF$ ,  $\Gamma_c = XF$

Recherche de XF pour obtenir F = 1

**Résultat : XF = 1,27**

(coefficient de sécurité "équivalent" à ceux  
calculés par les méthodes de Fellenius,  
Bishop ou des perturbations)



Comparaison pour F = 1

Introduction du  
coefficient XF

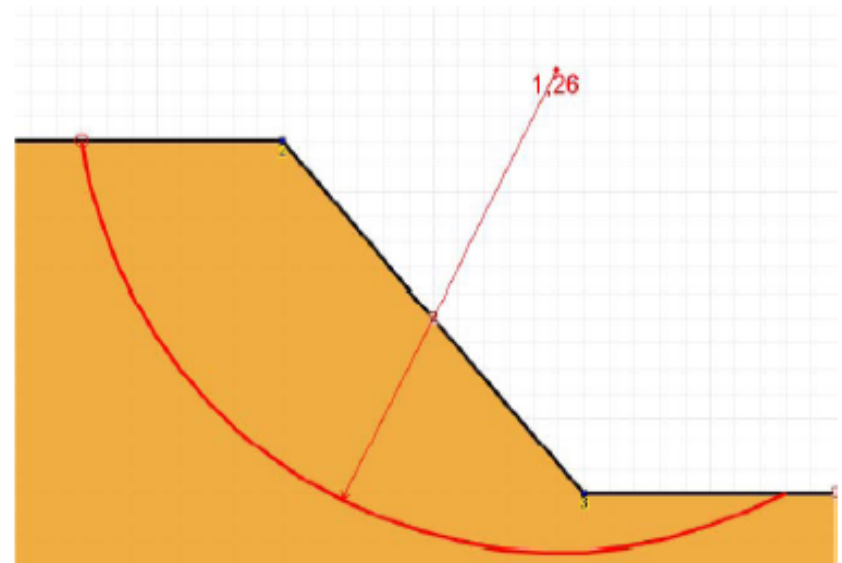
## Comparaison à une méthode traditionnelle

### *Calcul Bishop*

Cercle de mêmes extrémités et angle au centre  $110^\circ$

$$\Gamma_\phi = 1, \Gamma_c = 1$$

**Résultat :  $F = 1,26$**



## Publication

**“Application du calcul à la rupture aux soutènements”, B. SIMON**

ENPC – Symposium international ELU/ULS - Paris, Août 2006

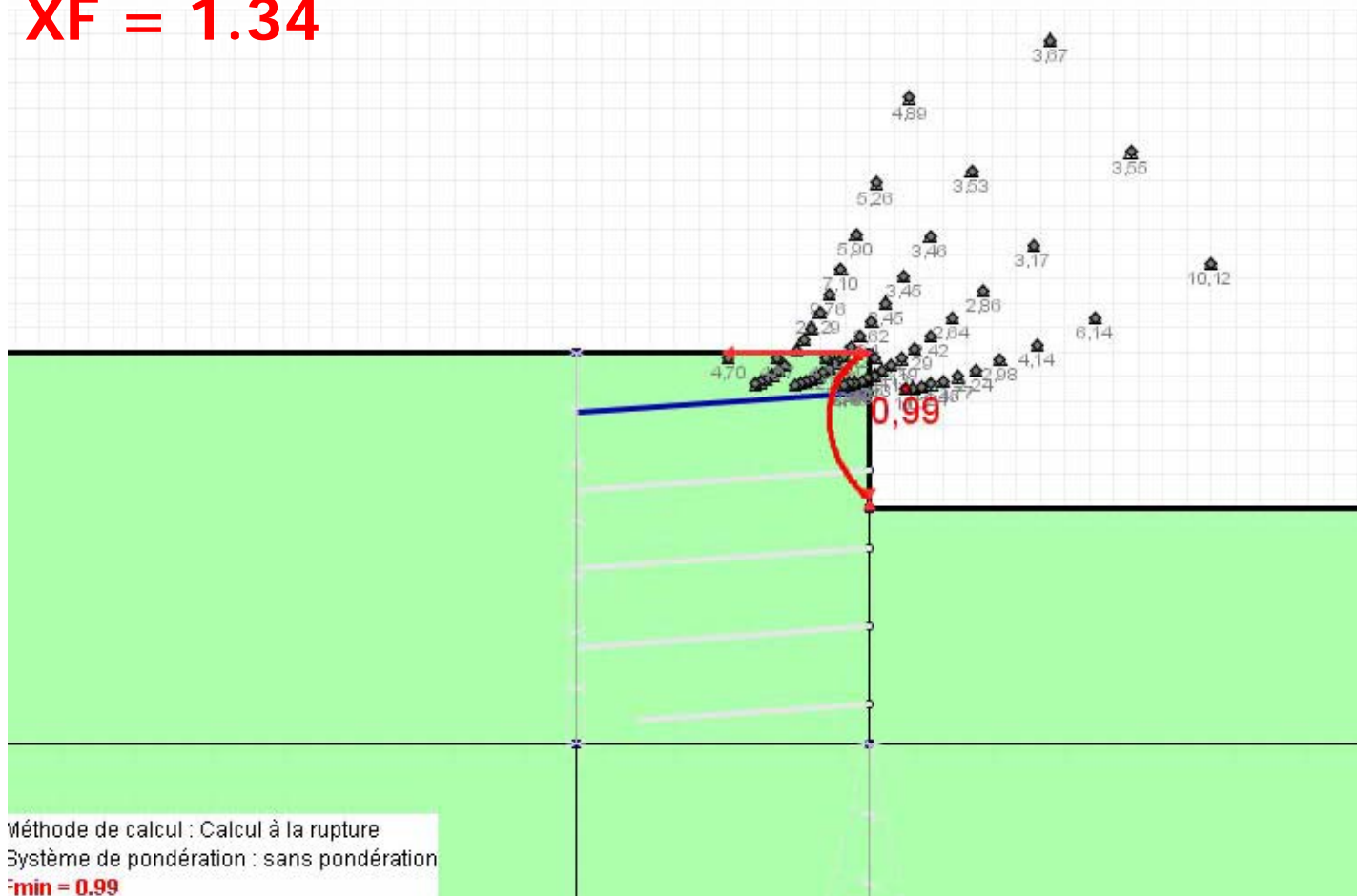
# Méthode du calcul à la rupture



## Mécanisme critique pour la 2ème phase d'excavation.

Fonctionnalités de recherche étendues

**XF = 1.34**



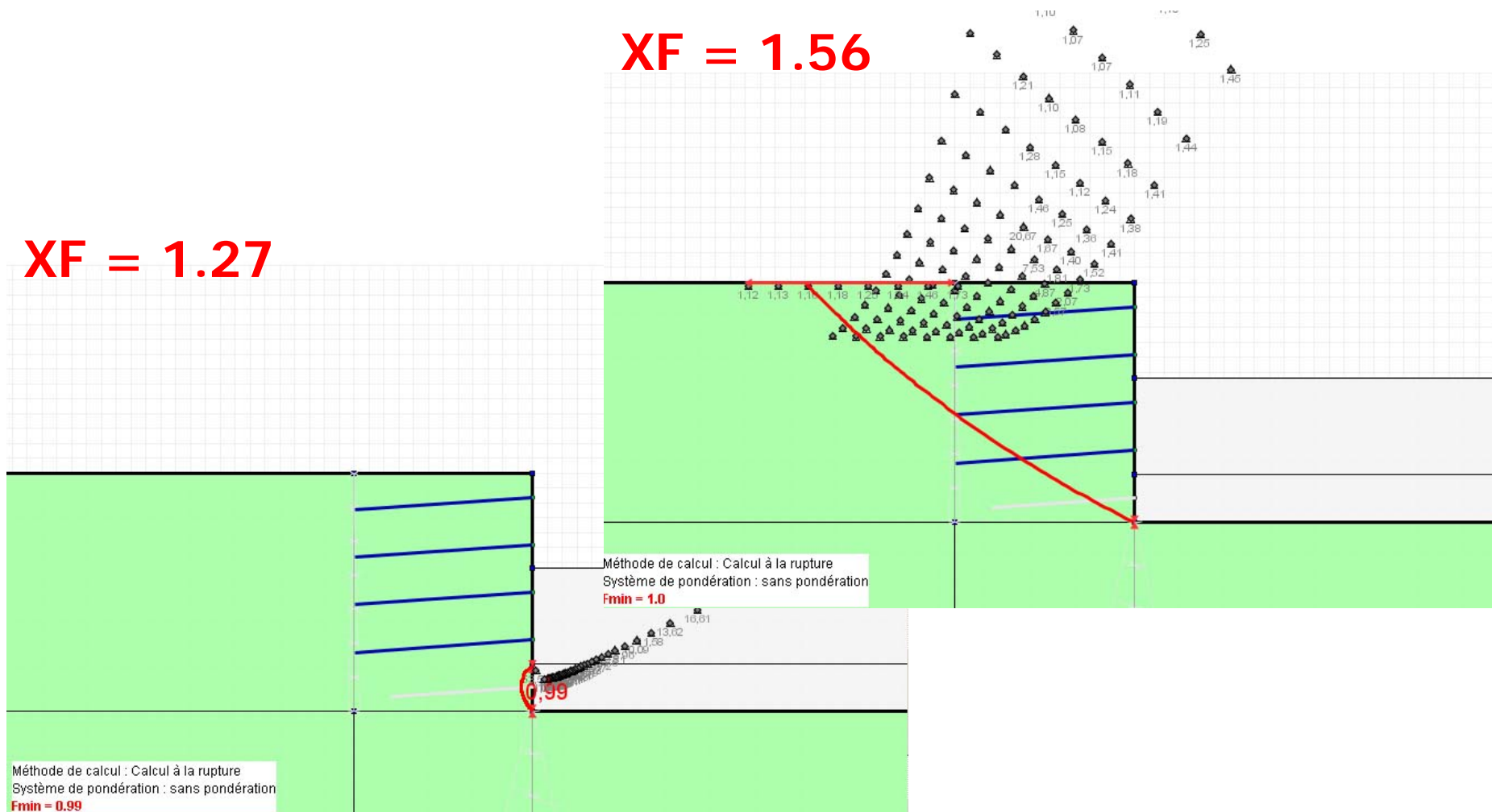
# Méthode du calcul à la rupture



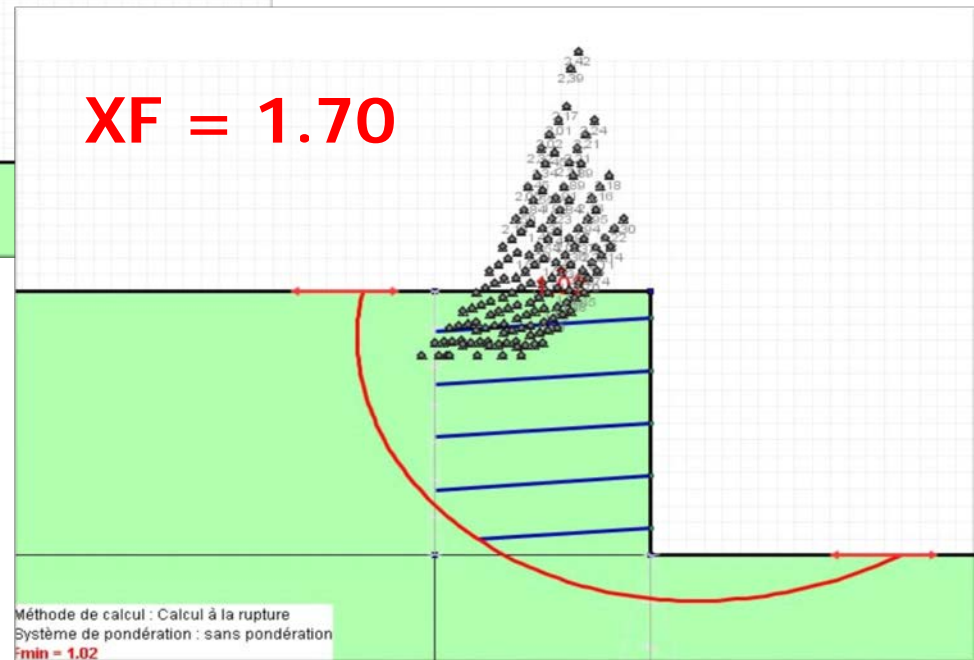
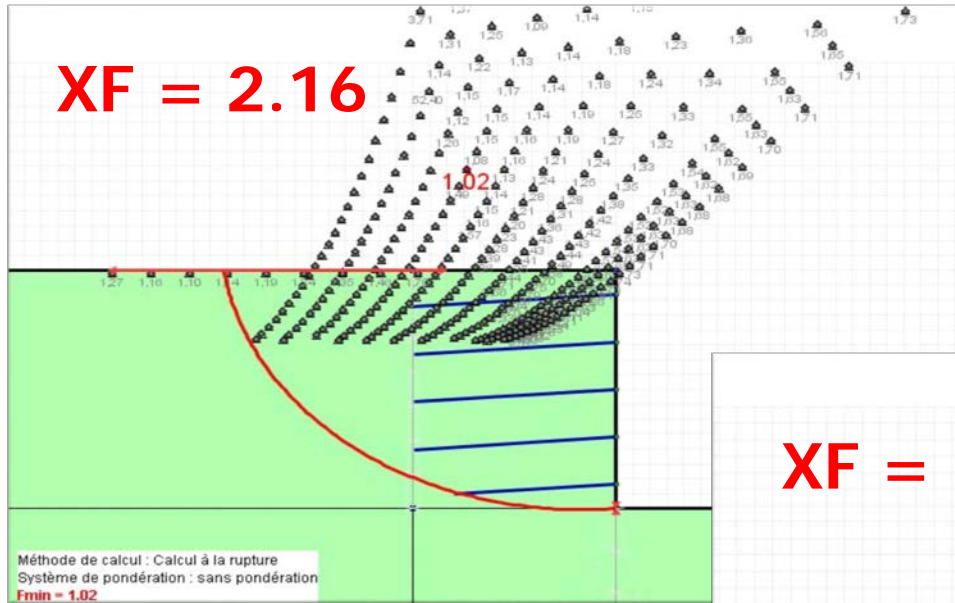
## Mécanisme critique pour la dernière phase d'excavation

**XF = 1.27**

**XF = 1.56**



# Méthode du calcul à la rupture



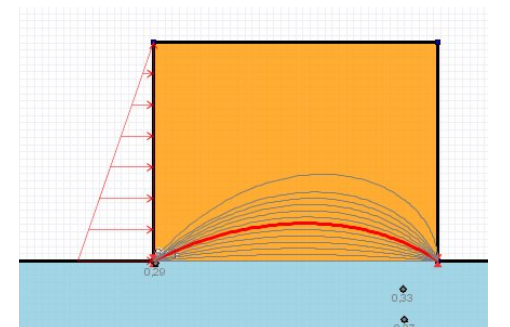
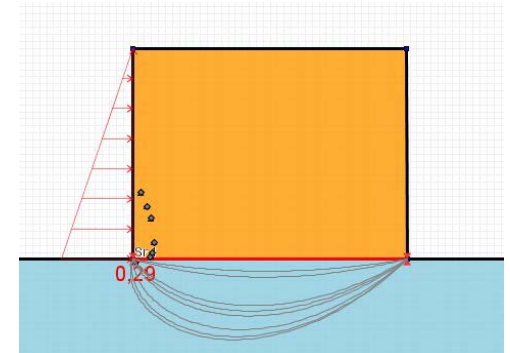
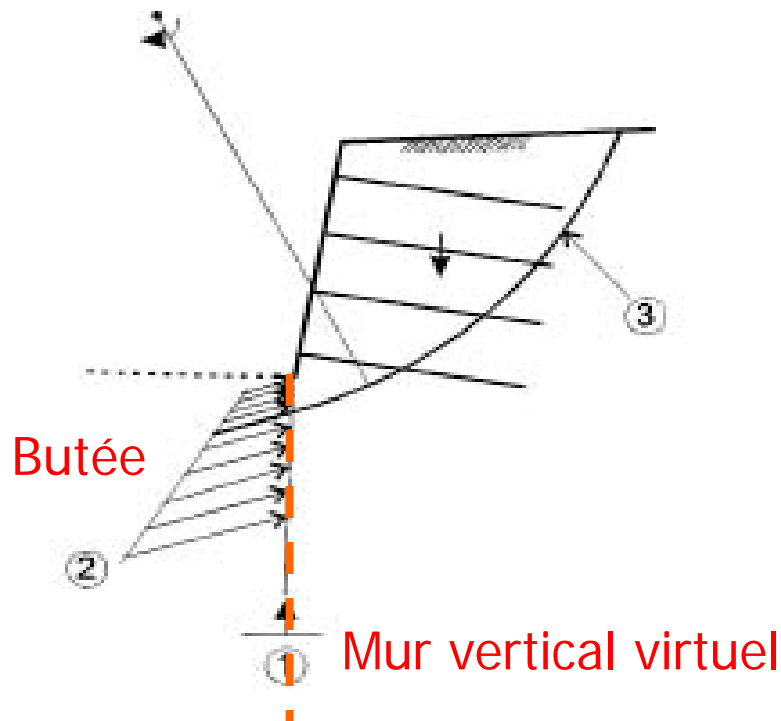


# Méthode du calcul à la rupture



## Options disponibles avec le calcul à la rupture

- Prise en compte de surcharges réparties inclinées ;
- Evaluation des poussées/butées ;
- Calcul des gabions (exploration des spirales à concavité vers le haut ou vers le bas, pour trouver la géométrie la plus défavorable).



# Surfaces de rupture- Méthodes des tranches et perturbations



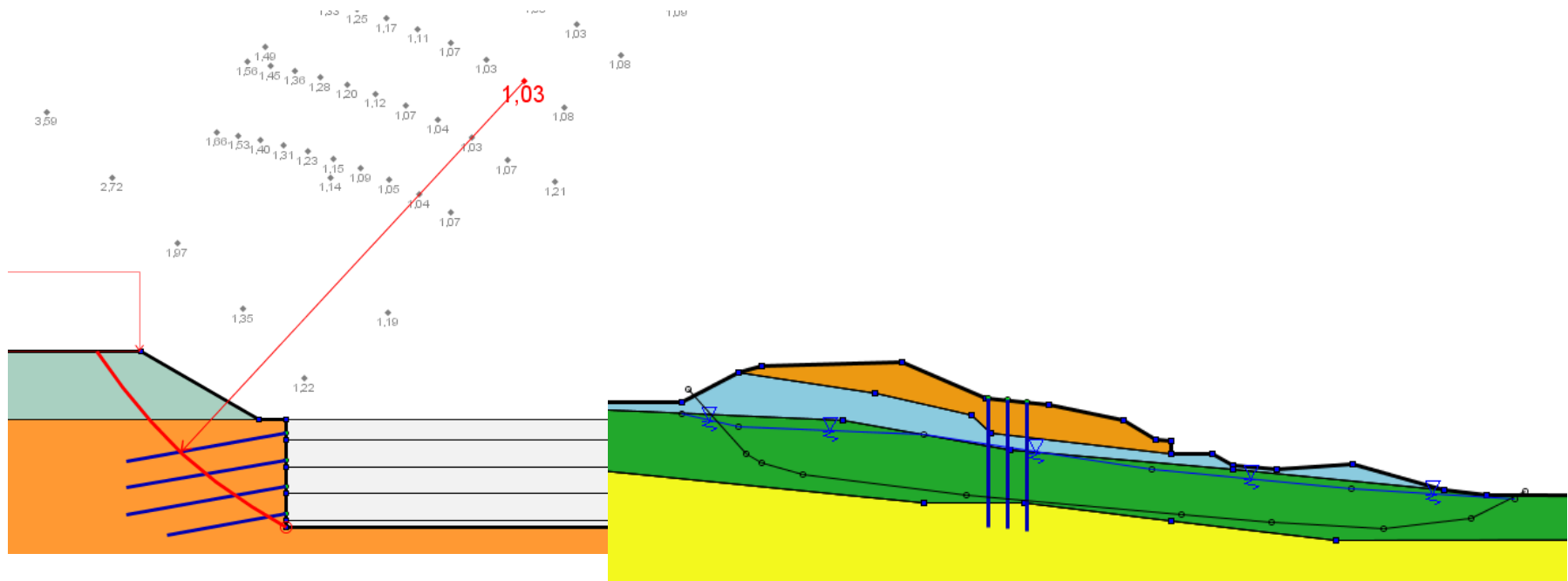
## Surfaces de rupture circulaires ou polygonales

### Recherche :

- Manuelle
- Automatique

### 1er cercle pour chaque centre :

- Point de passage imposé
- 1er cercle interceptant le talus
- Tangent à une couche donnée



# La recherche automatique



Option de **recherche automatique** pour les surfaces circulaires :

balayage de l'espace des centres possibles

Propriétés de la situation

[Retour](#) Surface de rupture automatique

Nombre de découpages  = N

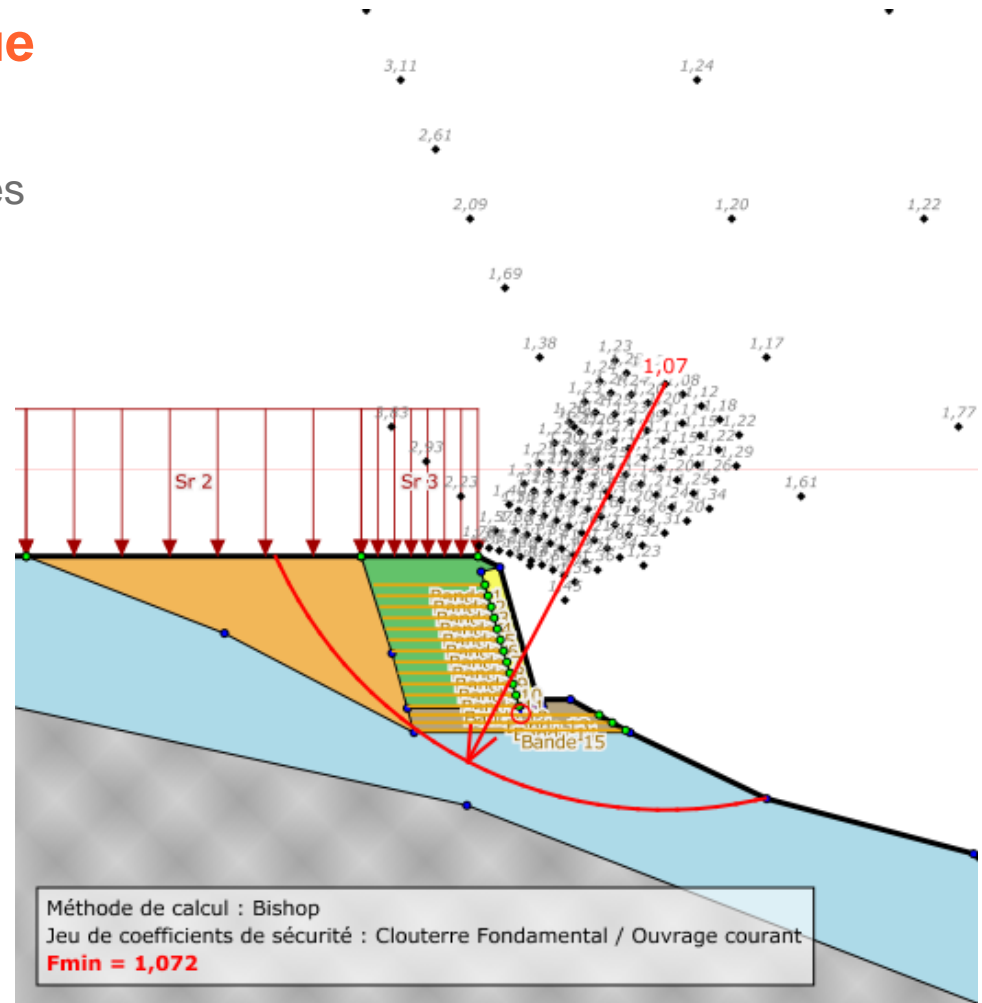
Incrément sur le rayon (m)

Abs. émerg. limite (m)

Type de recherche

X (m)  Y (m)

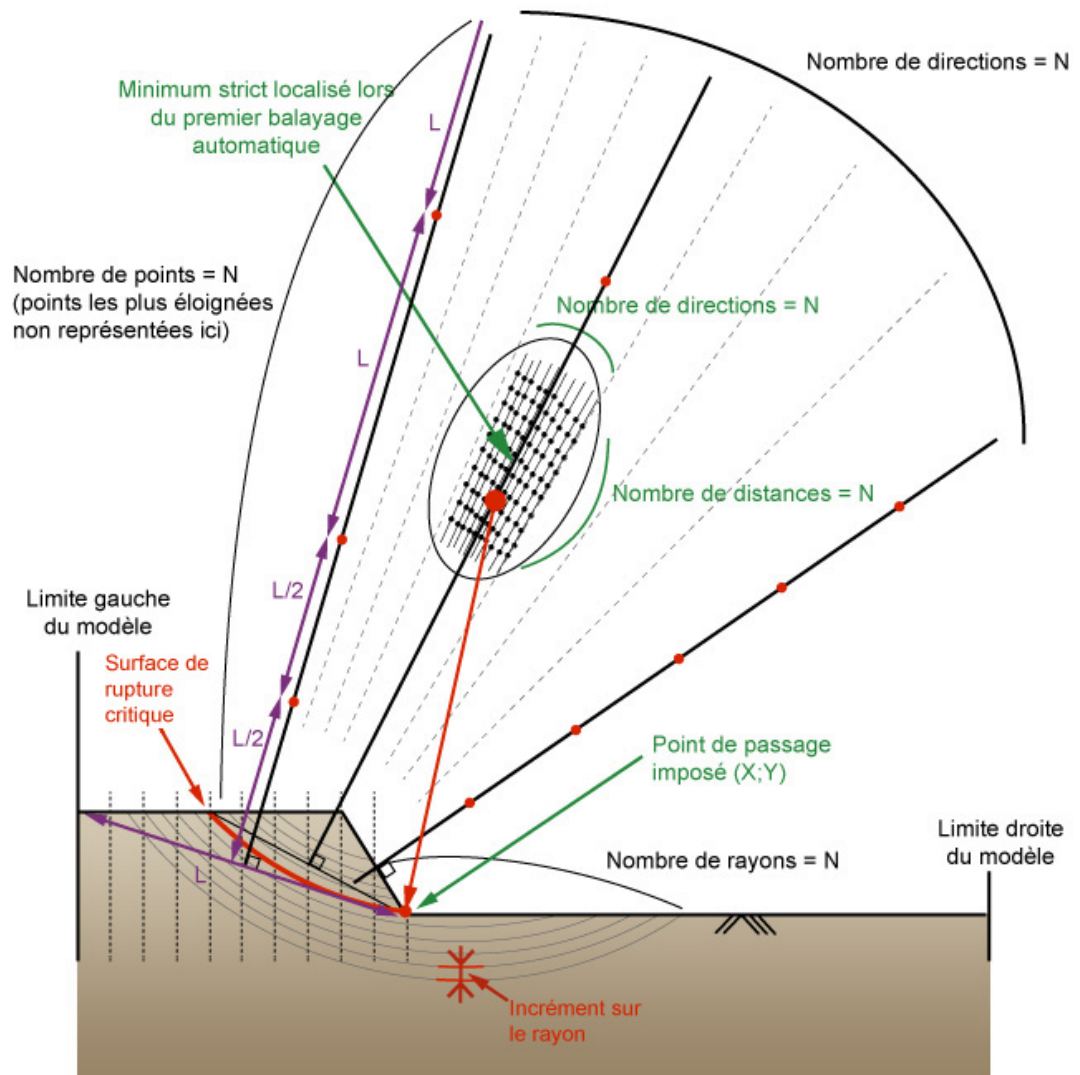
Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 2000



# La recherche automatique

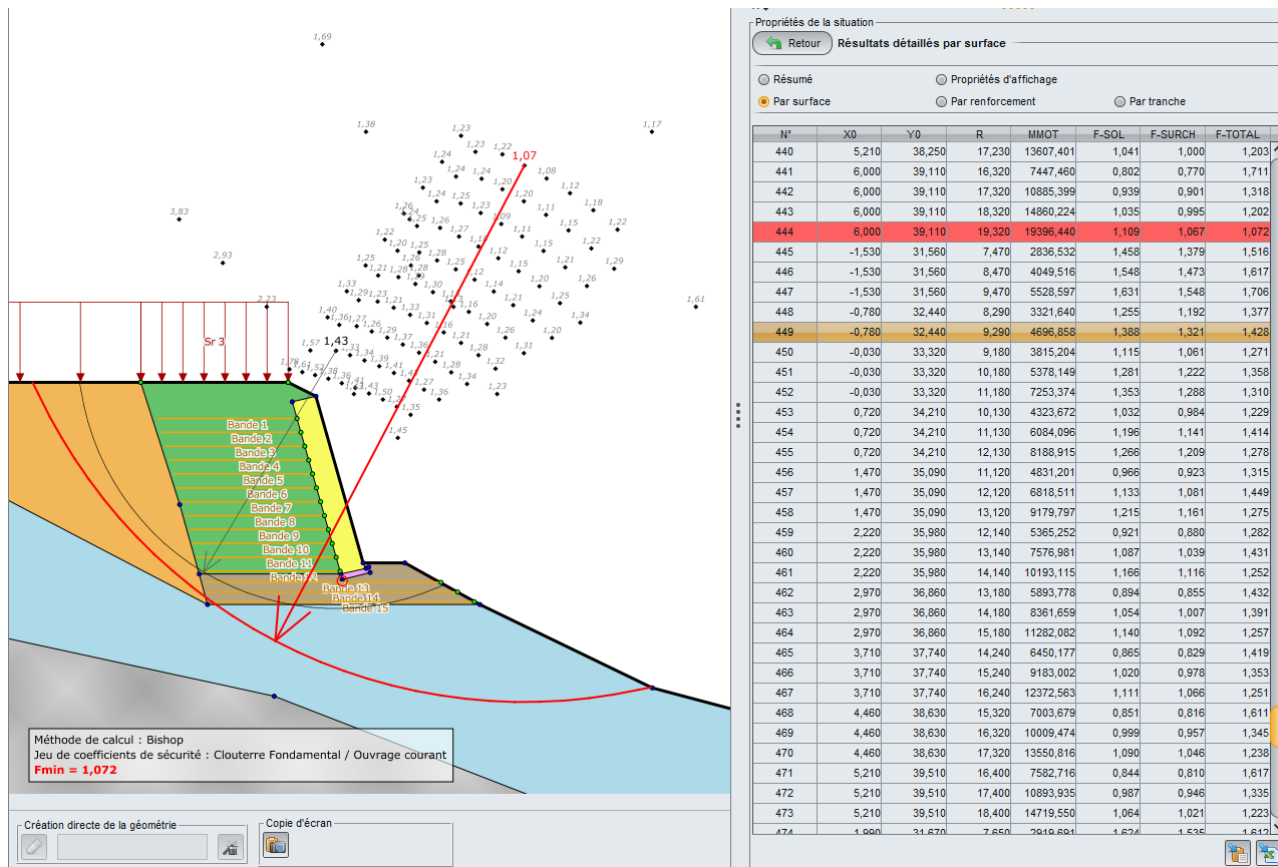


Recherche automatique du cercle critique, avec point de passage imposé pour le 1er cercle.



## Principaux types de résultats :

- Coefficient de sécurité et surface de rupture critique.
- Coefficient de sécurité pour toutes les surfaces de rupture explorées.



## Options complémentaires

- Efforts dans les renforcements.
- Résultats détaillés par tranches.

Propriétés de la situation


[Retour](#) Résultats détaillés par tranche

Résumé
  Propriétés d'affichage
  Par surface
  Par renforcement
  Par tranche

Surface: N°= 444; X0= 6,00; Y0= 39,11; R= 19,32

N°	DL	X	Y	A	GH	YGS	IS	u	UNE	RDS	SIG-TOT	TAU
1	0,900	-11,490	30,890	1,130	21,400	34,330	1	0,000	0,000	0,000	11,110	4,800
2	0,900	-11,090	30,090	1,090	37,400	32,690	1	0,000	0,000	0,000	20,510	8,860
3	0,900	-10,650	29,310	1,040	53,000	31,810	1	0,000	0,000	0,020	30,520	13,180
4	0,900	-10,180	28,550	0,990	68,200	31,170	1	0,000	0,000	0,190	41,150	17,770
5	0,900	-9,670	27,810	0,950	83,000	30,640	1	0,000	0,000	0,190	51,960	22,440
6	0,900	-9,130	27,090	0,900	97,200	30,170	1	0,000	0,000	0,190	63,030	27,230
7	0,900	-8,560	26,400	0,850	111,000	29,740	1	0,000	0,000	0,190	74,270	32,080

**Courbe des tranches**



Licence réseau | 11:02:14 : Toutes les tâches sont terminées.

Propriétés de la situation

[Retour](#) Efforts dans les renforcements

Résumé
  Propriétés d'affichage
  Par surface
  Par renforcement
  Par tranche

Surface: N°= 444; X0= 6,00; Y0= 39,11; R= 19,32

**Bande**

Nom	LU	TR	ITR
Bande 1	0,000	0,000	0
Bande 2	0,000	0,000	0
Bande 3	0,000	0,000	0
Bande 4	0,000	0,000	0
Bande 5	0,000	0,000	0
Bande 6	0,000	0,000	0
Bande 7	0,000	0,000	0
Bande 8	0,000	0,000	0
Bande 9	0,000	0,000	0
Bande 10	0,000	0,000	0
Bande 11	0,000	0,000	0
Bande 12	0,000	0,000	0
Bande 13	0,000	0,000	0
Bande 14	0,000	0,000	0
Bande 15	0,040	4,150	2