

Chapitre 3 : Stabilité des pentes

1. Introduction :

Les glissements de terrain sont des mouvements qui affectent les talus et les versants naturels. Ils surviennent à la suite d'un événement naturel : forte pluie, érosion, séisme, ou sont la conséquence plus ou moins directe d'actions de l'homme, telles que travaux de terrassements. Ils peuvent provoquer des dommages importants aux ouvrages et aux constructions.

2. Causes de glissement de terrain :

Le glissement de terrain est souvent lié à l'action de l'eau : des pluies particulièrement intenses peuvent emporter des quantités de matériaux déposés dans le lit des cours d'eau, éroder des pentes, déclencher des glissements de terrain.

Des glissements provoqués par les modifications des conditions hydrauliques (vidange d'un réservoir...)

Glissement provoqué par un séisme

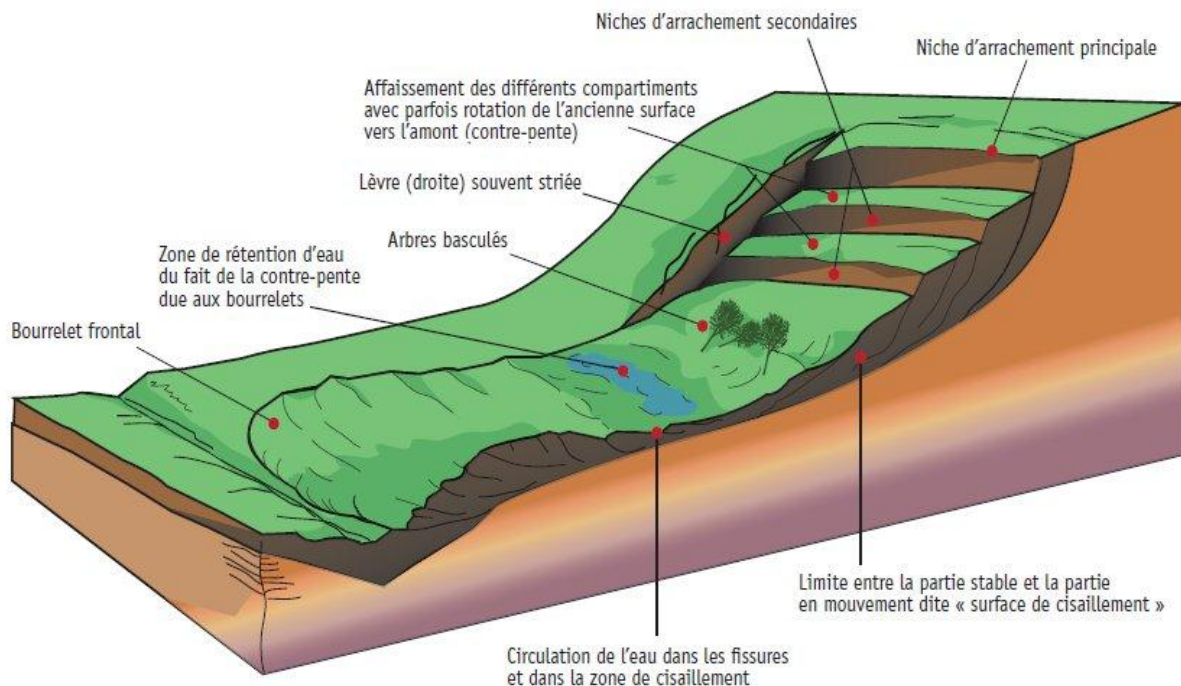


Schéma en coupe d'un glissement de terrain

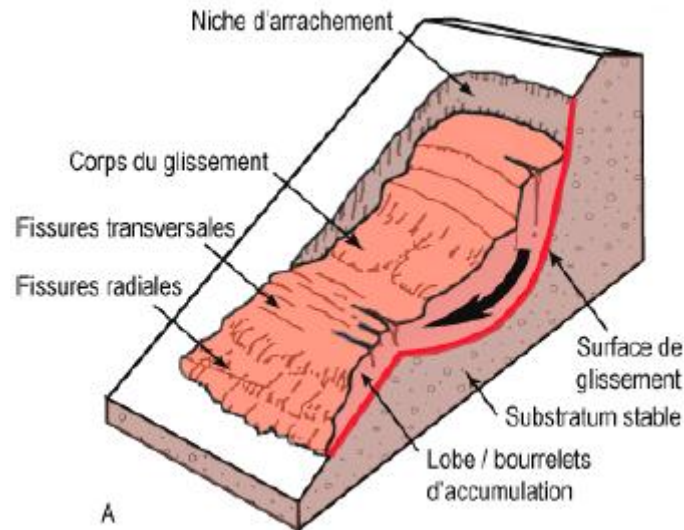
3. Classification des mouvements de terrain :

3.1. Les glissements

Ils affectent les matériaux meubles (argile et marne), de type sols, et sont généralement beaucoup plus lents. On peut distinguer :

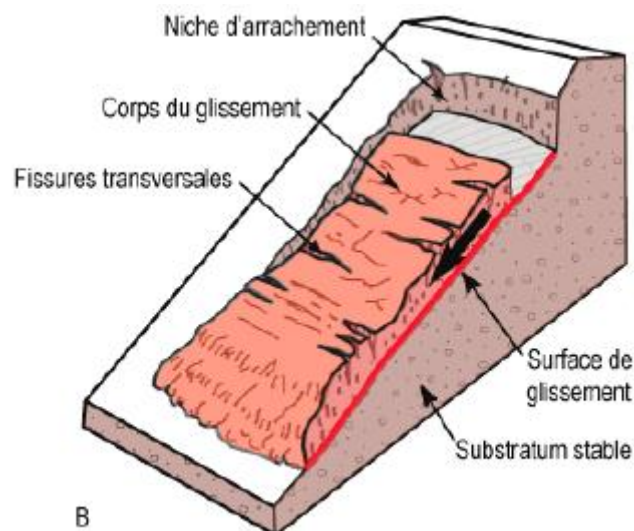
A. Glissements rotationnels :

Ils sont caractérisés par un basculement de la masse glissée, le long d'une surface de rupture à peu près circulaire



B. Glissements plans :

Ils se produisent lorsqu'il existe une surface pouvant guider une rupture plane (surface plane)

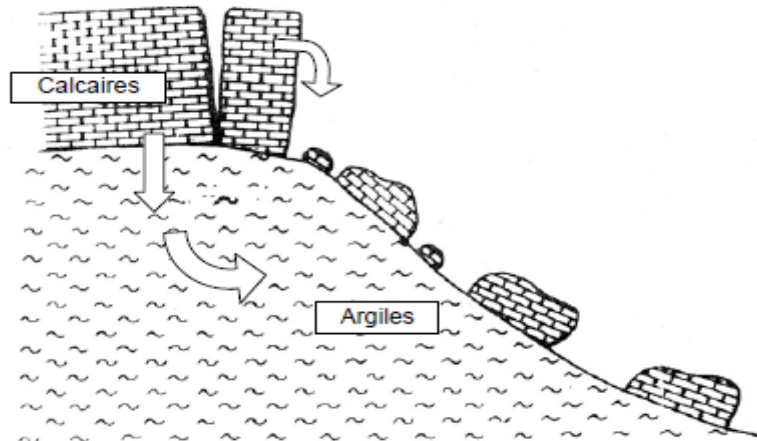


C. Glissements complexes :

Lorsque le sol est hétérogène, il peut y avoir formation de glissements "complexes", dont certaines parties correspondent à des mouvements rotationnels et d'autres à des mouvements plans.

3.2. Les écroulements :

Ce sont des chutes soudaines (quelques secondes) de masses rocheuses importantes.



3.3. Les coulées

Elles sont dues à la mise en mouvement, généralement brutale, de masses de sol à l'état "liquide" qui, dans leur écoulement, peuvent transporter un débit solide important (rochers, troncs d'arbres, débris de constructions, etc.) dont l'impact sur les structures peut être désastreux.



4. Problèmes posés :

Pour étudier la stabilité dans diverses circonstances, le géotechnicien doit :

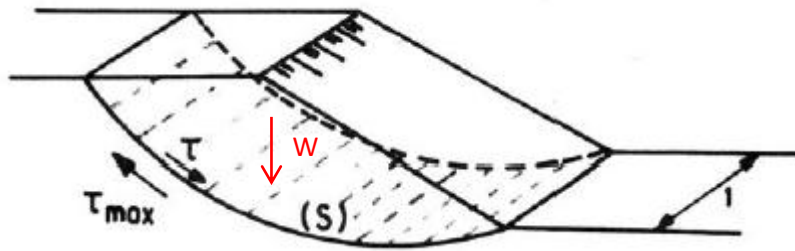
- Etablir la structure géologique du site (identifier la nature des terrains)
- Connaître le niveau d'eau souterraine
- Préciser la profondeur et la forme de la surface de glissement afin de déterminer les paramètres de résistance
- Evaluer la vitesse des mouvements du sol (mettre en place une station de surveillance)

5. Analyse de stabilité

Le calcul consiste à comparer les contraintes de cisaillement τ s'exerçant le long de S , à la résistance au cisaillement τ_{max} du sol.

On admet que la rupture se produit simultanément en tout point ; et le coefficient de sécurité F est défini par :

$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$



Si $F > 1$: il n'y a pas de glissement

Si $F \leq 1$: il y a possibilité de rupture par glissement

Dans le cas général, la résistance au cisaillement τ_{max} est égale à :

$$\tau_{max} = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

Et la contrainte de cisaillement τ qui peut se développer sur la ligne de glissement est à l'origine des forces qui font bouger le poids W

$$\tau = \frac{c'}{F} + \frac{\sigma'}{F} \operatorname{tg} \phi'$$

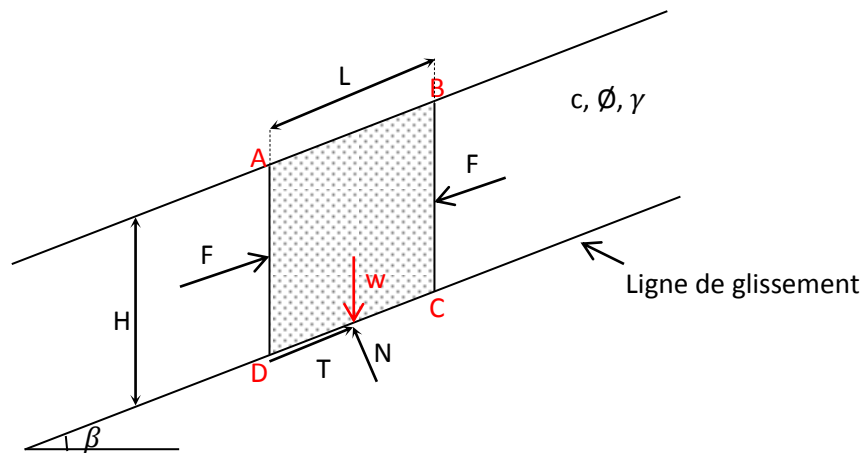
BUT : on cherche la surface de glissement la plus défavorable correspondante au coefficient de sécurité minimum ;

Pour cela, les méthodes classiques les plus couramment utilisées sont :

- Calcul en rupture plane
- Calcul en rupture circulaire (méthode des tranches)
- Rupture non circulaire (méthode des perturbations)

5.1. Calcul de coefficient de sécurité en rupture plane :

Si l'on considère un talus à surface de glissement plane (voir figure ci-dessous), le coefficient de sécurité F peut être calculé à partir de l'équilibre des forces appliquées sur une tranche ABCD de sol :



W : le poids de la tranche ABCD

N et T : les réactions normales et tangentielle à la base

Les forces F s'équilibrent de part et d'autre

Donc, on a :

$$W = \gamma L H \cos\beta$$

La force perpendiculaire à la ligne de glissement

$$N = W \cos\beta$$

La force parallèle à la ligne de glissement

$$T = W \sin\beta$$

Donc, les contraintes normales σ et de cisaillement τ appliquées sur la ligne de glissement sont :

$$\sigma' = \frac{N}{A} = \frac{\gamma L H \cos^2\beta}{L \cdot 1} = \gamma L H \cos^2\beta$$

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{\gamma L H \cos\beta \sin\beta}{L \cdot 1} = \gamma H \cos\beta \sin\beta$$

On a :

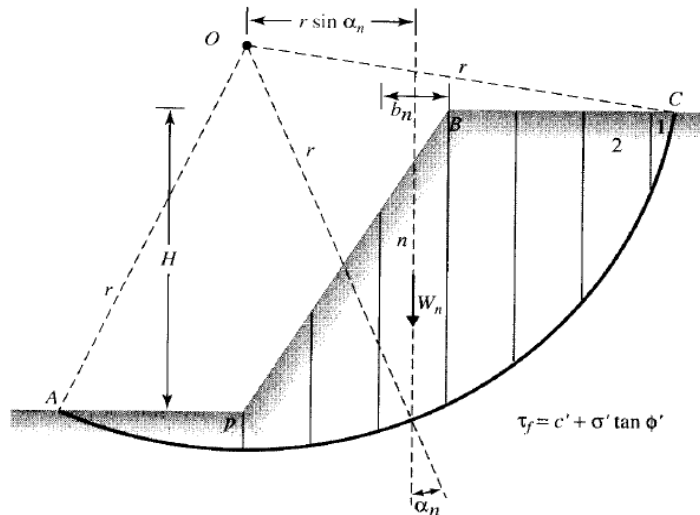
$$\tau_{\max} = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi' = c' + \gamma H \cos^2\beta \operatorname{tg} \phi'$$

Le coefficient de sécurité est :

$$F = \frac{c' + \gamma H \cos^2\beta \operatorname{tg} \phi'}{\gamma H \cos\beta \sin\beta}$$

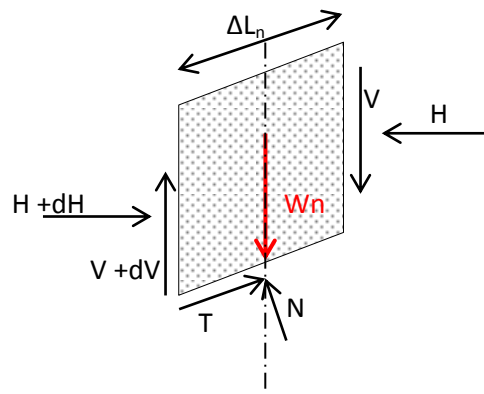
5.2. Calcul de coefficient de sécurité en rupture circulaire :

La méthode des tranches consiste à diviser le talus en un certain nombre des tranches verticales d'épaisseur relativement petites pour que la base de chaque tranche soit assimilable à un segment de droit et étudier par la suite l'équilibre de chaque tranche ;



Cette méthode est due à **Patterson** (1926), et développée pour les ruptures circulaires par **Fellenius** (1927), et **Bishop** (1954) ;

Dans cette méthode, chaque tranche est en équilibre sous l'action des forces qui lui sont appliquées :



Le coefficient de sécurité F est la somme des moments résistants par rapport aux moments moteurs :

$$F = \frac{M_{\text{résistant}}}{M_{\text{moteur}}}$$

$M_{\text{résistant}}$: c'est la résistance au cisaillement τ_{max} du sol
 M_{moteur} : le poids du sol en mouvement

Remarque 1 :

Pour étudier l'équilibre d'une tranche (n) :

1. Fellenius fait l'hypothèse que dH et $dV = 0$
2. Bishop ; il prend que $dV = 0$

Dans notre cas, on se limite à étudier l'équilibre d'une tranche (n) par la méthode de Fellenius

Le coefficient de sécurité dans ce cas est :

$$F = \frac{\sum (c' \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \operatorname{tg} \phi')}{\sum W_n \sin \alpha_n}$$

Remarque 2 :

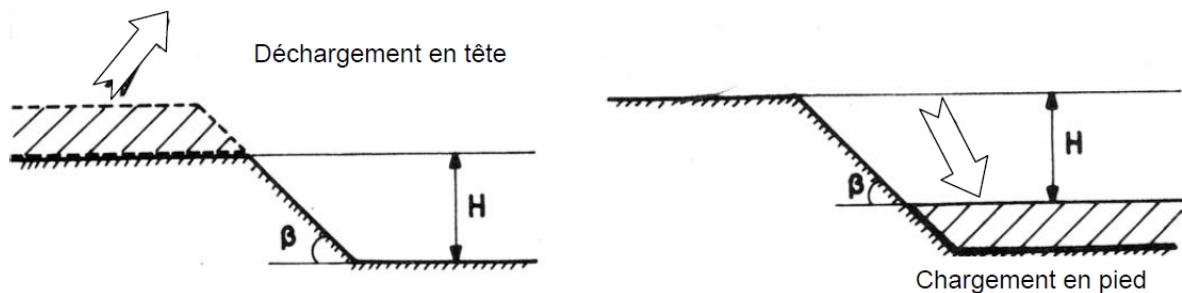
Pour étudier la stabilité d'un talus et calculer le coefficient de sécurité avec précision, il vaut mieux recourir aux logiciels de calcul, par ce que en réalité l'étude de la stabilité consiste à faire des calculs itératives et chercher la surface de glissement qui donne un F_{\min} .

6. Méthodes de confortement (renforcement) :

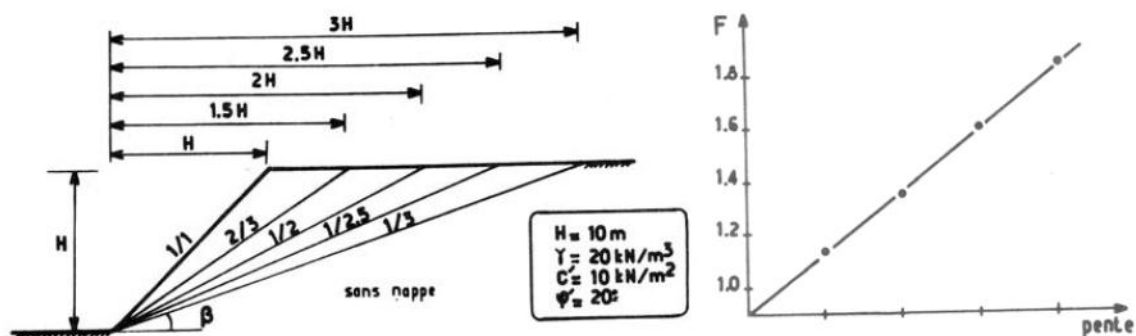
Quatre types d'actions peuvent être menés pour, à partir d'un état initial donné, améliorer la stabilité générale d'un déblai. Elles portent sur :

- La géométrie : modification du profil,
- Le régime hydraulique : drainage,
- Les forces mécaniques : soutènement, cloutage,
- La nature du sol : injection, substratum.

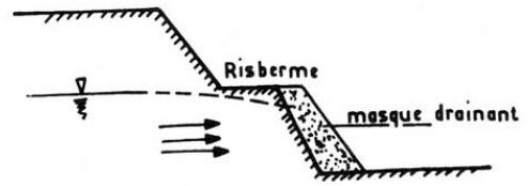
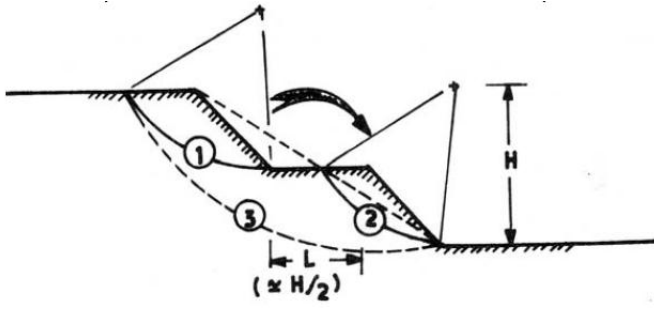
Il faut, de plus, assurer la pérennité de l'état de surface du talus et le préserver de l'érosion en le protégeant par une végétation appropriée.



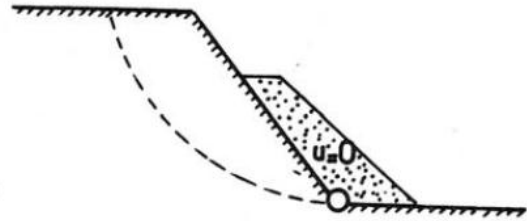
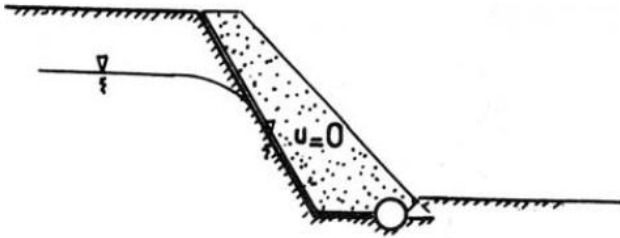
Diminution de la hauteur d'un talus



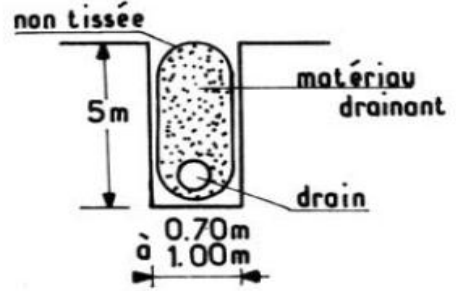
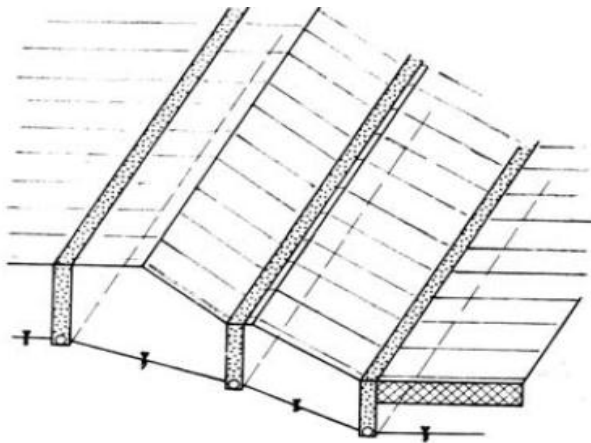
Diminution de la pente



Réaliser des risbermes

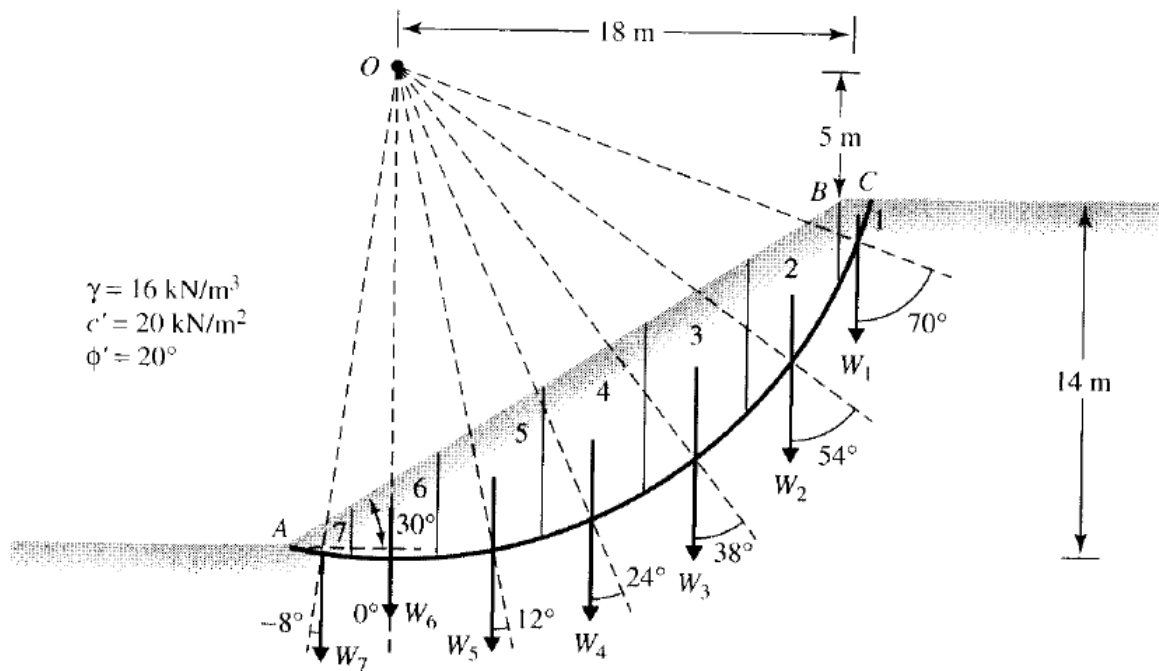


Mettre un masque drainant



Réaliser des tranchées drainantes

Exemple : la détermination de coefficient de sécurité par la méthode des tranches



Slice no. (1)	W (kN/m) (2)	α_n (deg) (3)	$\sin \alpha_n$ (4)	$\cos \alpha_n$ (5)	ΔL_n (m) (6)	$W_n \sin \alpha_n$ (kN/m) (7)	$W_n \cos \alpha_n$ (kN/m) (8)
1	22.4	70	0.94	0.342	2.924	21.1	7.66
2	294.4	54	0.81	0.588	6.803	238.5	173.1
3	435.2	38	0.616	0.788	5.076	268.1	342.94
4	435.2	24	0.407	0.914	4.376	177.1	397.8
5	390.4	12	0.208	0.978	4.09	81.2	381.8
6	268.8	0	0	1	4	0	268.8
7	66.58	-8	-0.139	0.990	3.232	-9.25	65.9
$\Sigma \text{ Col. 6} =$						$\Sigma \text{ Col. 7} =$	$\Sigma \text{ Col. 8} =$
30.501 m						776.75 kN/m	1638 kN/m

$$F_s = \frac{(\Sigma \text{ Col. 6})(c') + (\Sigma \text{ Col. 8})\tan \phi'}{\Sigma \text{ Col. 7}}$$

$$= \frac{(30.501)(20) + (1638)(\tan 20)}{776.75} = 1.55$$