

بسم الله الرحمن الرحيم

Université de Jijel, Département d'Architecture
2^{ème} Année Architecture LMD
Module : Construction. 1

Ch.2 Les terrassements



II.1. Définitions

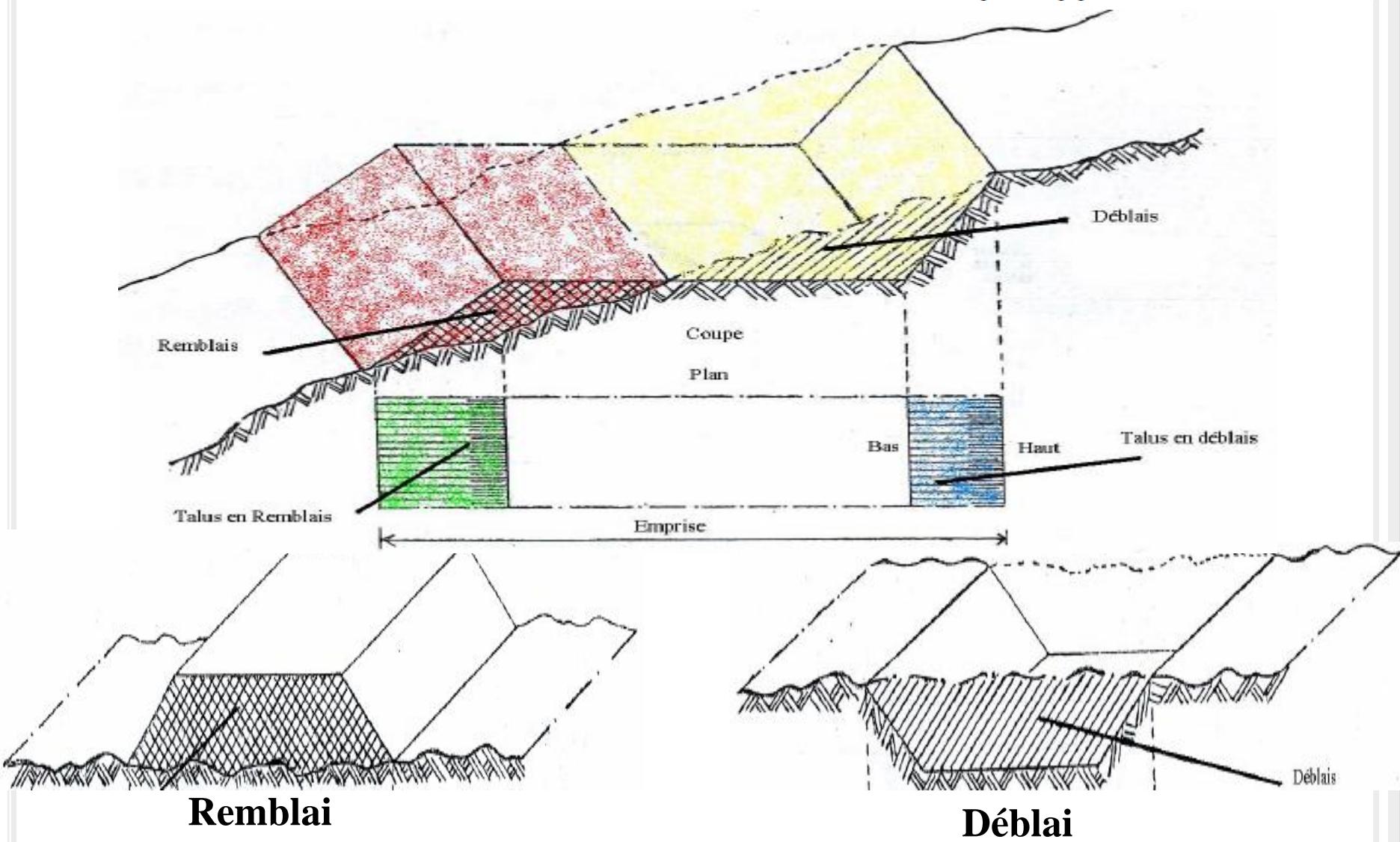
Le terrassement consiste à modifier la topographie d'un site conformément aux indications prescrites par des plans et des devis. Ces modifications peuvent être modestes (excavation requise pour installer les fondations superficielles d'un bâtiment), linéaires (aménagement d'une structure routière, construction d'une digue) ou complexes (construction des approches d'un échangeur routier multiple).



Le talus est protégé du côté réservoir, il est enherbé des deux côtés.

On distingue deux opérations majeures dans les activités de terrassement, le déblai et le remblai.

- *Le déblai* : consiste à abaisser le niveau du terrain par enlèvement de terres.
- *Le remblai* : consiste à enlever le niveau du terrain par apport de terres.



Terminologie

Mouvements des terres ou terrassement généraux : c'est des travaux de terrassements exécutés sur de grandes superficies, en remblai ou en déblai.



Le décapage : correspond à un terrassement de faible profondeur, comparativement à la surface traitée. Le décapage est de 0.20 à 0.30 m d'épaisseur environ.



Compactage : Opération qui a pour but d'augmenter la densité sèche d'un sol, en chassant l'air qu'il contient, par pression, vibration ou percussion



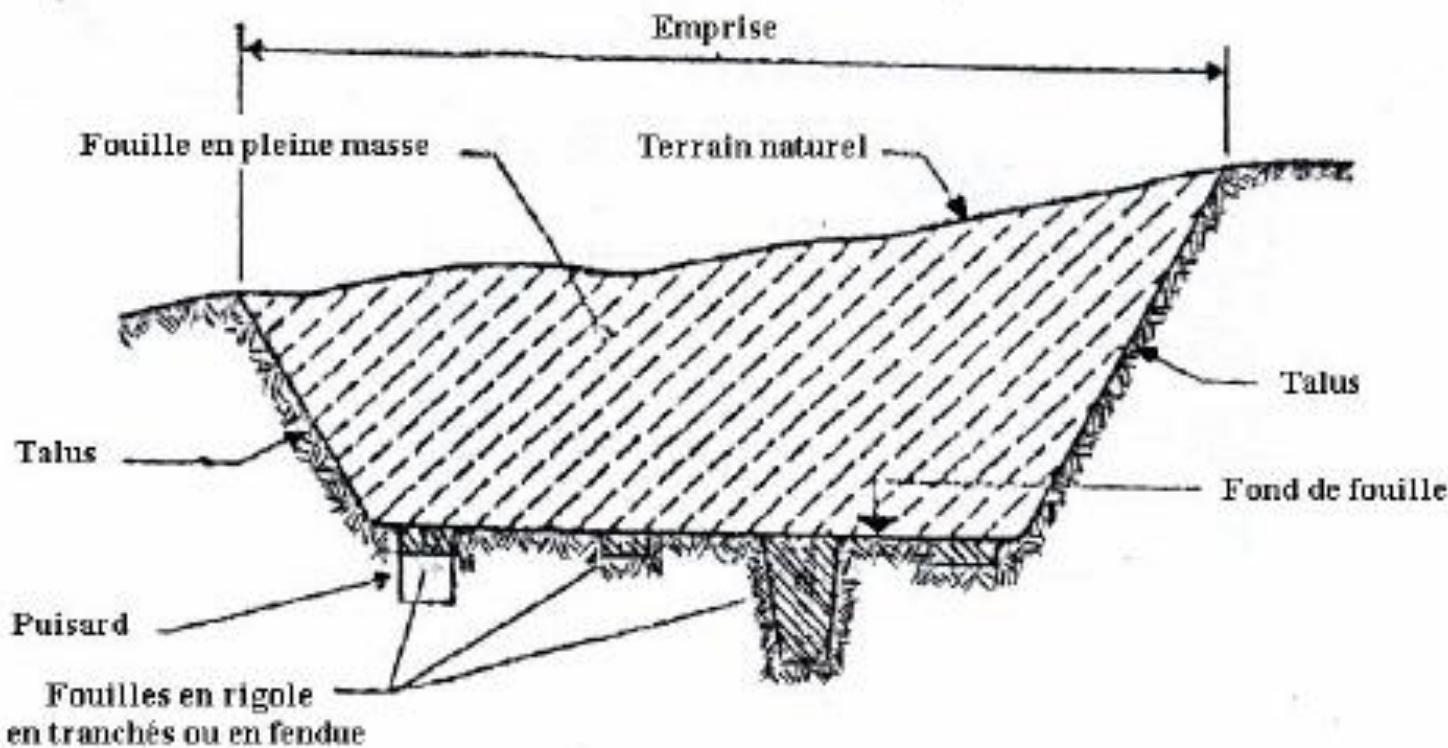
Les fouilles : sont des terrassements dont la profondeur, rapportée à la surface ou à la largeur, est plus importante. Les fouilles servent à l'exécution des bâtiments.



Le talus : c'est la pente, ou inclinaison, donnée aux parois des terres pour éviter leur éboulement. Il dépend de la nature du terrain.



L'emprise d'un terrassement : c'est la limite où on exécute notre terrassement il est matérialisé par l'intersection des talus (de déblais ou de remblais) et du terrain naturel.



II.2. Informations et opérations préalables aux travaux de terrassement

La préparation des travaux de terrassement comporte une recherche d'informations sur la consistance (cohérence) du terrain à travailler et sur ce qu'il peut contenir à savoir :

- La nature géologique du terrain ;
- Les canalisations, les câbles à conserver ou à supprimer s'ils sont inemployés ;
- Les fondements d'anciennes constructions (dans l'emprise du terrain à excaver ou jouxtant les fouilles)

Préalablement aux travaux de terrassements, une phase préparatoire est réalisée sur le site, comprenant entre autre :

- démolition de constructions existantes ;



- débroussaillage, l'abattage et le dessouchage des arbres (si nécessaire) ;



Débroussaillage



Abattage des arbres



Dessouchage des arbres

- nivellation des terrains ;



- l'implantation des bâtiments et voies projetés ;



- l'étalement des constructions à proximité immédiate.

Etalement : Soutenir avec des étais (pièces en charpente métallique)



1. Terrassement des bâtiments : les plans de terrassement comprennent (figure -2)

- une vue en plan
 - des coupes

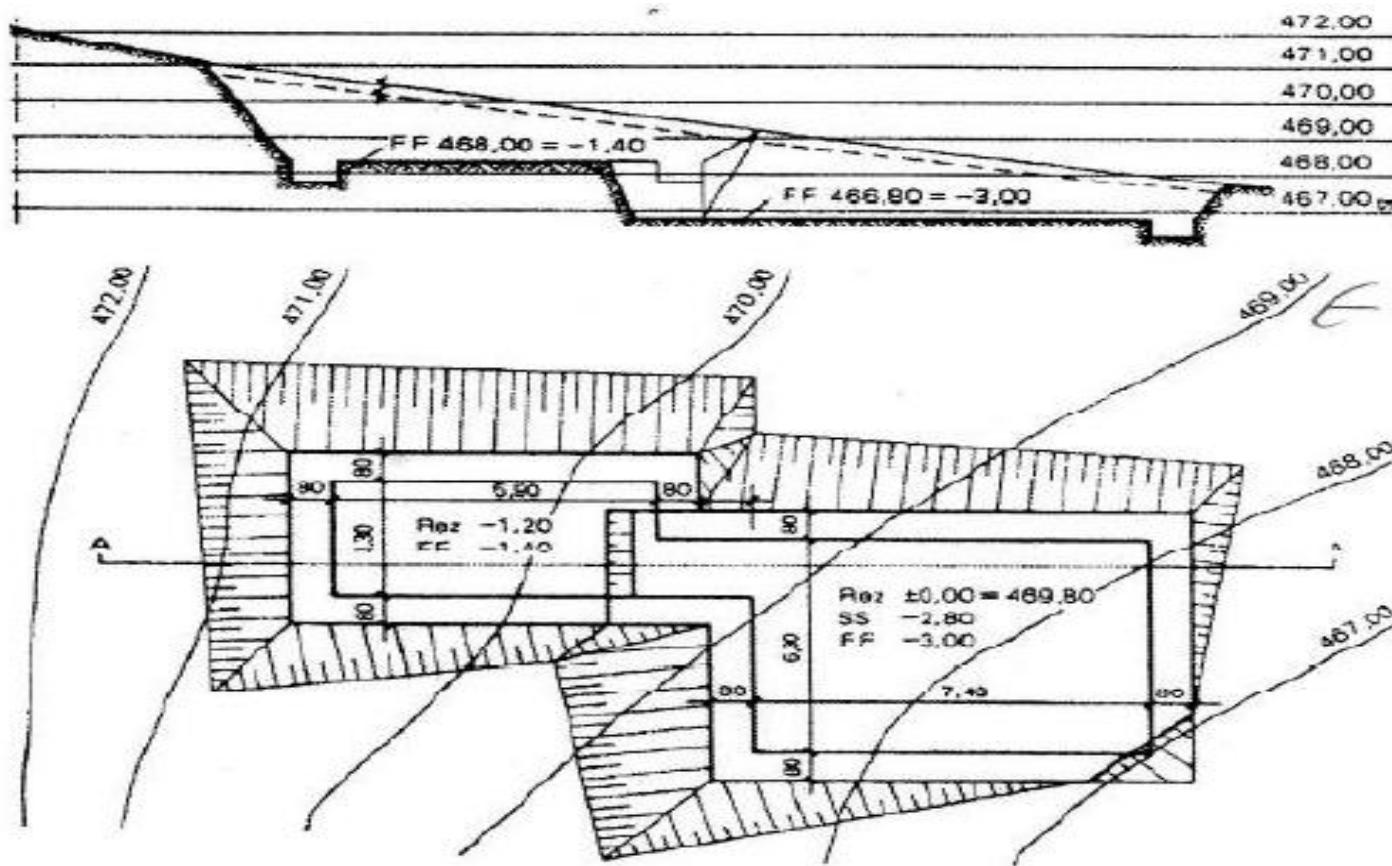
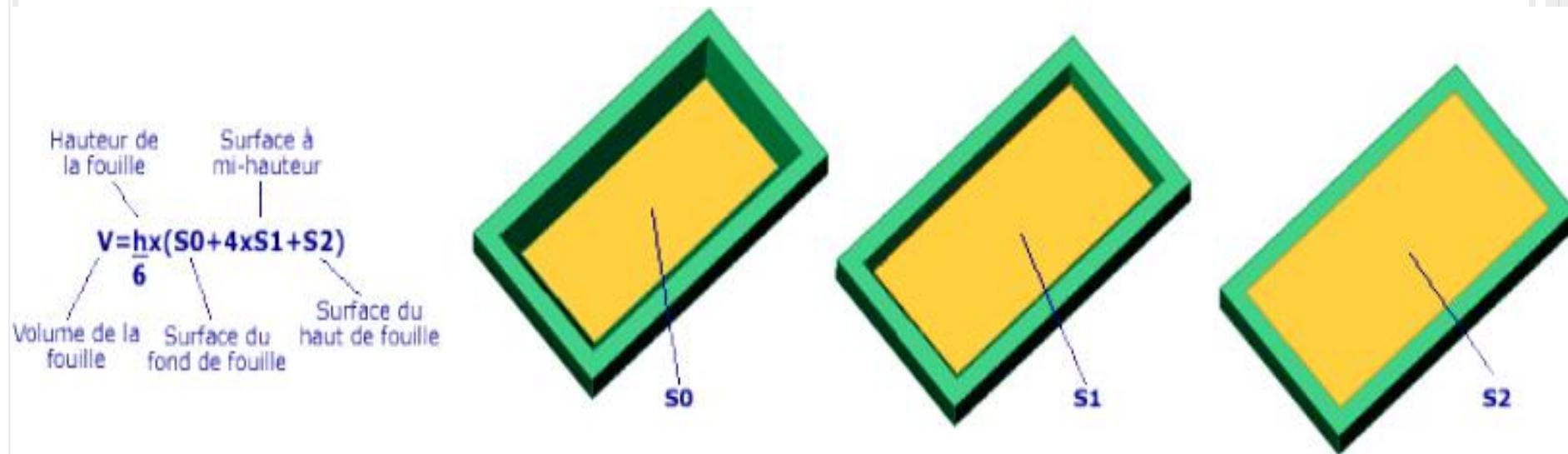


Fig.2. Coupe et plan de terrassement

Calcul du volume des fouilles

La forme générale des fouilles est de deux types : soit la surface est bordée par des parois verticales, soit par un talus.

- Lorsque la surface est bordée par des parois verticales : le volume de la fouille correspond à la surface de la fouille multipliée par la hauteur de la fouille.
- Lorsque la fouille talutée, la surface de la fouille varie régulièrement du fond pour s'agrandir jusqu'à la surface. Mathématiquement un tel type de volume se calcule par la formule des trois niveaux.



Dans cet exemple les trois surfaces S_0 , S_1 et S_2 sont des rectangles.

foisonnement des terres

foisonnement initial

Le sol en place occupe un volume V_0 avec une masse volumique en place ρ_0



Lorsque le sol est excavé augmente de volume



c'est le phénomène de foisonnement

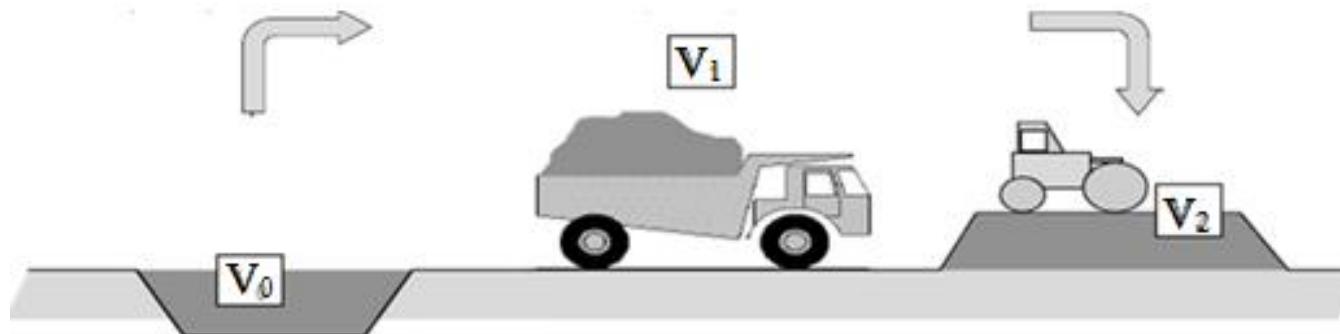


Son volume devient V_1 et sa masse volumique ρ_1



On définit le coefficient de foisonnement initial

$$f_i (\%) = \left(\frac{V_1}{V_0} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \right) \cdot 100$$



foisonnement final

Ce même sol mis en place dans un remblai et compacté



subira un tassement et occupera un volume V_2 avec une masse volumique ρ_2



c'est le coefficient de foisonnement final (foisonnement résiduel)



On définit le coefficient de foisonnement final

$$f_d (\%) = \left(\frac{V_2}{V_0} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{\rho_0}{\rho_2} - 1 \right) \cdot 100$$

Exemple de valeurs des coefficients de foisonnement f_i et f_d :

Nature des terres	Angle talus	Masse volumique (kN/m ³)	f_i (%)	f_d (%)
Sable fin, sec	10 à 20°	14	10	3
Sable fin mouillé	15 à 25 °	16	20	4
Gravier moyen	30 à 40 °	19 à 21	25	4
Terre végétale humide	30 à 45 °	16 à 17	10	3
Terre très compacte	40 à 50 °	16 à 18	25	10
Cailloux	40 à 50 °	15 à 17	50	15
Marne sèche	30 à 45 °	15 à 16	50	8
Argile sèche	30 à 50 °	16	50	15
Argile humide	0 à 20 °	12 à 18	25	8
Roches diverses	50 à 90 °	20 à 25	50	20

La seule évaluation des quantités de terre à déplacer ne suffit pas à définir l'atelier de terrassement, composé :

- d'engins de production : pelles hydrauliques, décapeuses ...etc.
- d'engins de transports : camions, tombereau,...etc.

En effet il faudra pour cela tenir compte du paramètre 'distance de déplacement'. Pour les chantiers présentant des zones de déblais et des zones de remblais, on devra si possible utiliser le sol extrait en remblai.

Dans d'autres cas (souvent dans le cas des chantiers de bâtiment) on aura uniquement des zones de déblais à évacuer hors chantier.

II.4. Opérations élémentaires de terrassements

Les opérations élémentaires de terrassement comportent principalement :

1. La fouille : Opération consistant en l'extraction de déblais
2. La charge : Mise en charge des déblais dans des véhicules de transport
3. Le transport
4. La mise en décharge : sur un site de stockage (mise en dépôt) en vue d'une utilisation future en vers la décharge publique (mise en remblai).

II.5. Exécution de terrassement et production des engins

II.5.1 Les engins de production

1. *Bulldozer*

Equipement	Utilisation	Facteurs de rendement
<ul style="list-style-type: none">-lame refoulante à l'avant-scarificateur à l'arrière (pour ameublir les sols)-ripper à l'arrière (scarificateur avec une seule dent)-lame orientable à l'avant	<ul style="list-style-type: none">-Déplacement des terres,-pousser des décapeuses,-niveler des terrains,-décaper de la terre végétale.	<ul style="list-style-type: none">-puissance et équipement du tracteur-nature et topographie du sol-travail à effectuer

sur pneus



à chenilles



Lame

-scarificateur à
l'arrière (pour
ameublir les sols)



2. Chargeuse

Equipement	Utilisation	Facteurs de rendement
- godet	-chargement -transport sur de courtes distances	-capacité du godet -Durée d'un cycle : Charger le godet - aller-vider le godet - retour

godet



sur pneus



à chenilles

3. Pelles hydrauliques

Equipement	Utilisation	Facteurs de rendement	Facteur de remplissage d'un godet										
<ul style="list-style-type: none">- Châssis fixe- structure supérieure pouvant effectuer une rotation de 360°-godet en butte-godet en rétro	<ul style="list-style-type: none">-fouille-chargement	<ul style="list-style-type: none">-Puissance de l'engin-l'angle de travail-durée d'un cycle-la nature du sol à excaver a également une incidence sur le volume de remplissage du godet.	<table border="1"><thead><tr><th>Nature du sol</th><th>R(%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Terrains légers</td><td>100</td></tr><tr><td>Terrains lourds</td><td>95</td></tr><tr><td>Terrains rocheux</td><td>85</td></tr><tr><td>Blocs de roches</td><td>70</td></tr></tbody></table>	Nature du sol	R(%)	Terrains légers	100	Terrains lourds	95	Terrains rocheux	85	Blocs de roches	70
Nature du sol	R(%)												
Terrains légers	100												
Terrains lourds	95												
Terrains rocheux	85												
Blocs de roches	70												



sur pneus



à chenilles

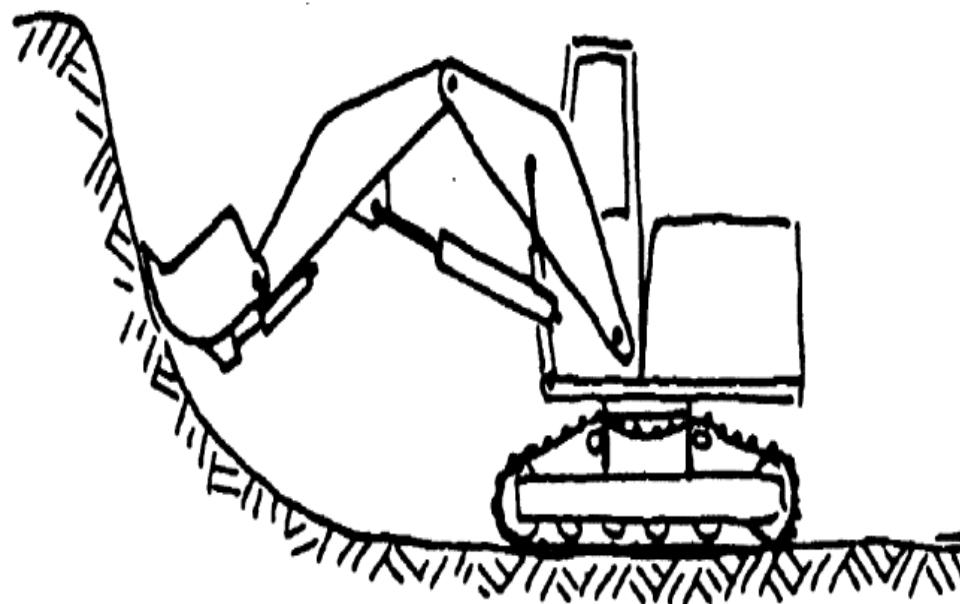
➤ *Types de pelle*

Pelle équipée en butte

Caractérisée par un godet vers le haut. Elle excave en hauteur .
Le godet se remplit en raclant le front de bas en haut



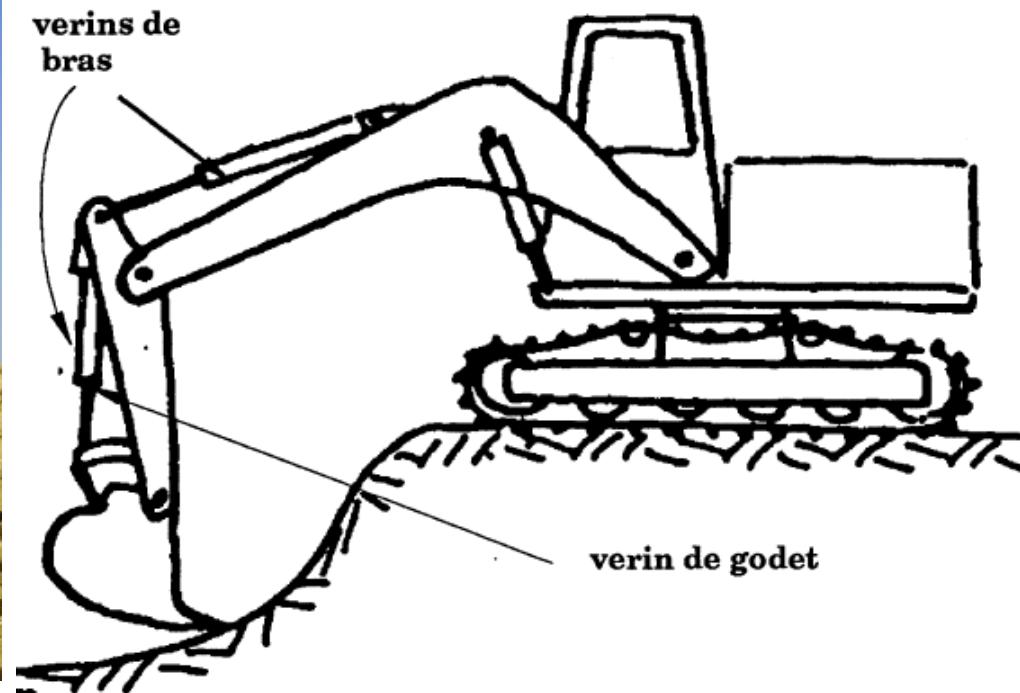
Pelle équipée en butte



Pelle Equipement "butte"

Pelle équipée en retro

Elle est destinée essentiellement à l'excavation en bas (en profondeur), comme les fouilles.



Pelle Equipment "Rétro"

Pelle équipée en rétro

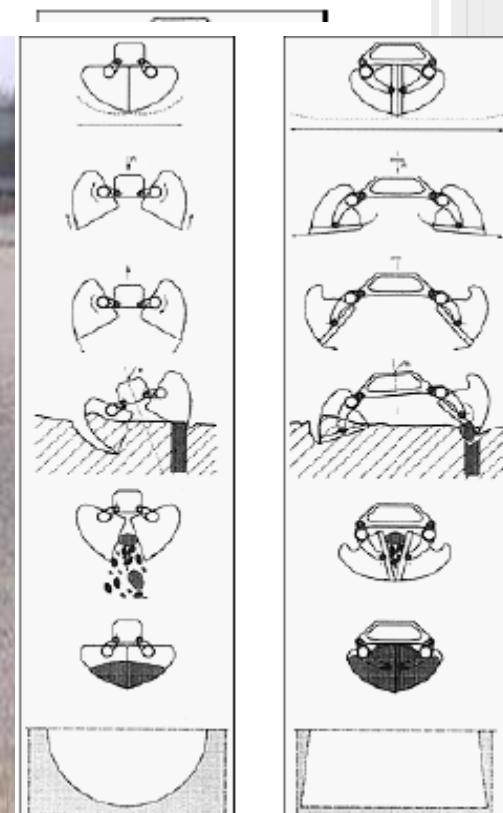
Pelle en dragline

Elle est caractérisée par un godet à câble et une flèche en treillis.

Elle est destinée pour le terrassement des terrains meubles ou sous l'eau.

Pelle équipée en benne preneuse

La pelle en benne preneuse sert au creusement de tranchées verticales étroites et à la manipulation de gros blocs de matériaux.



Pelle en dragline

Pelle équipée en benne preneuse

Pelle équipée d'outils de démolition

Pelle équipée par brise roche hydraulique (BRH) monté sur son bras.

Les mini-pelles

Sont des modèles réduits des pelles classiques. Elles sont appréciées pour leur légèreté et leur compacité. Elles sont facilement transportables.



4. Tractopelle

Equipement	Utilisation
<ul style="list-style-type: none">-engin très polyvalents.-très souple d'emploi, la tractopelle associe, sur un châssis de tracteur, un godet de chargeuse et une pelle en rétro.	<ul style="list-style-type: none">-exécution de fouilles petits chantier,-remblaiement possible ou chargement des terres



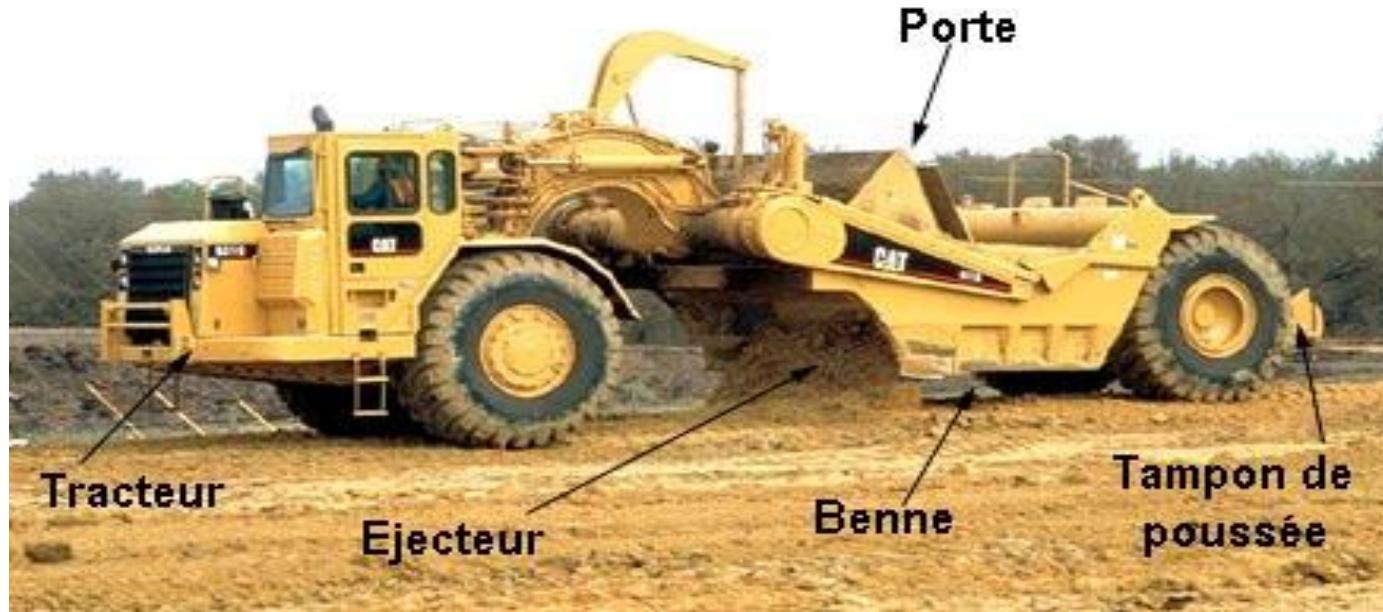
5. Niveleuse

Equipement	Utilisation
<ul style="list-style-type: none">-lame d'acier à inclinaison variable et orientable-possibilité d'équipement avec un scarificateur à l'arrière	<ul style="list-style-type: none">-terrasser sur de faibles épaisseurs,-déplacer les terres et aplanir la surface



6. Décapeuse (scraper)

Equipement	Utilisation
Elles se composent -d'un tracteur -d'une benne qui se charge par le fonds en décapant le terrain comme un rabo.	- très utilisé pour le terrassement routier -peut assurer à la fois l'excavation, le remplissage, le transport de sols par couche de déblais sur une distance de 2 km.



II.5.2 Les engins de transport

Une fois l'extraction des sols réalisés par les engins de production, les engins de transport doivent évacuer les déblais soit vers les lieux de remblaiement, soit vers des zones de dépôt. Ces engins de transport sont caractérisés en relation avec le code de la route.

- *Les camions* : Ils sont classés en fonction :
 - De leur capacité en m³ ou en tonnes
 - De leur type de benne : basculant vers l'arrière ou latéralement.

- *Les tombereaux* :

Sont des camions de chantier avec une plus grande capacité que les camions routiers, d'une contenance de 20 à 30 m³. Cependant, ils ne sont pas autorisés à circuler sur le réseau routier. L'emploi de ces engins est donc réservé aux grands ouvrages de terrassements.



II.5.3 Les engins d'assistance

- *Les compacteurs :*

Le compactage est un procédé de densification mécanique des sols par l'application d'une charge normalement dynamique.

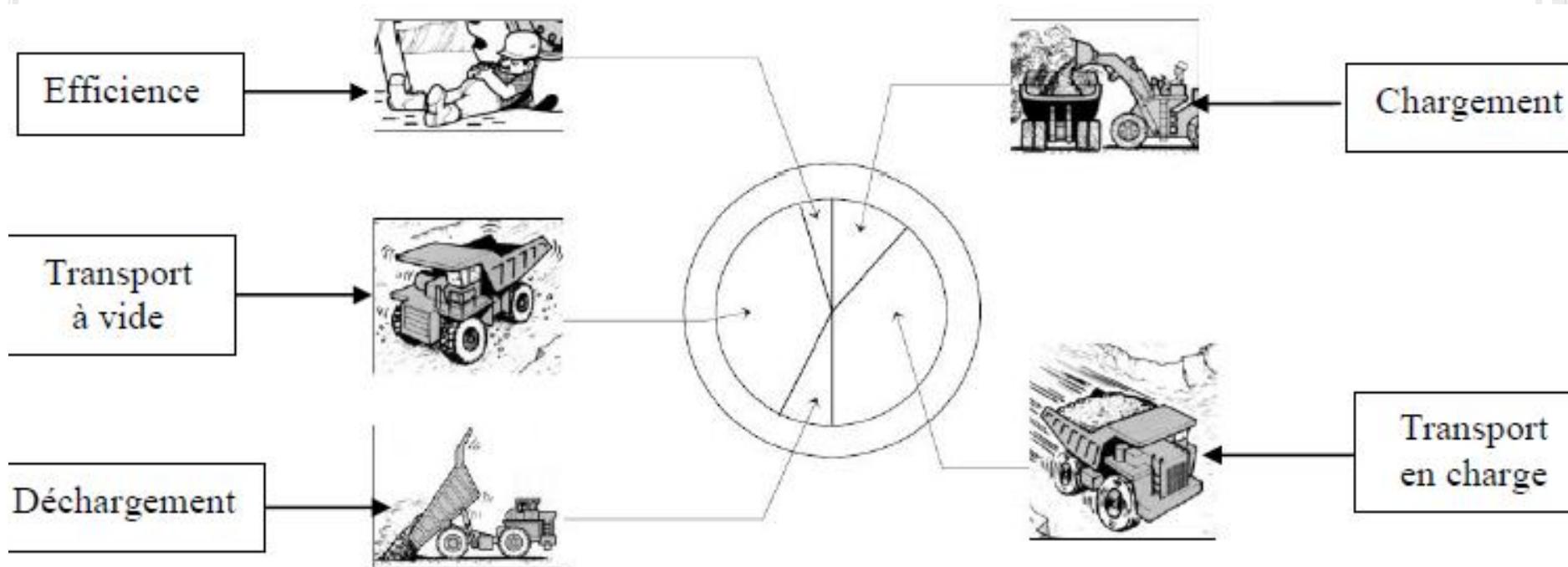


II.6. Atelier de terrassement

□ Cycle de travail

La durée d'un cycle de production est le temps nécessaire pour exécuter un tour complet, pour une opération donnée.

Pour estimer la durée d'un cycle, un simple chronométrage suffit. Un bon résultat est obtenu en faisant une moyenne sur quelques rotations. Un cycle est composé de plusieurs étapes ayant chacune une durée élémentaire que l'on peut représenter pour le cas des camions de la façon suivante :



1. *Le temps de chargement :*

$$T_{ch} = \text{Durée de cycle de la pelle} \cdot \frac{\text{Nombre de coups pour remplir une benne}}{\text{Coefficient d'efficience}}$$

$$\text{Nombre de coups pour remplir une benne} = \frac{\text{Capacité de la benne}}{\text{Capacité du godet}}$$

Coefficient d'efficience : ce coefficient permettent de déterminer la production réelle d'un engin en tenant compte de : l'état de la machine, l'expérience et la qualification professionnelle du conducteur.

$$K_e = (\text{Efficiency de la machine (en min/h)}) / 60$$

Pour une heure (60min) de fonctionnement théorique, un engin travaillera effectivement, par exemple, 50min. Le coefficient d'efficience dans ce cas est $k_e = 50/60 = 0,83$

2. *Le temps de transport en charge :* est égal à la distance du lieu d'emprunt au lieu de dépôt divisé par la vitesse en charge moyenne.

$$T_{tc} = \frac{\text{Distance aller (km)}}{\text{Vitesse moyenne (km/h)}}$$

3. *Le temps déchargement :* dépend de l'encombrement, de l'espace disponible sur le chantier.... et est donné forfaitairement.

4. *Le temps de transport à vide :* est égal à la distance du lieu d'emprunt au lieu de dépôt divisé par la vitesse à vide moyenne.

- Nombre de camions = $\frac{\text{Durée de cycle du camion}}{\text{Temps de chargement}}$

Classification des terrains selon le degré de consistance et de dureté

Dans la nature, nous pouvons trouver différents types de sols. Plus précisément, du point de vue de l'opération 'terrassements' nous classons les sols selon le degré de consistance ou de dureté.

Dans ce cas précis deux grandes catégories existent :

1. **les terrains meubles ou encore sols faciles** : c'est des sols qui peuvent s'exploiter à la pioche ou avec des moyens mécaniques courants, ils comprennent :
 - les terrains ordinaires comprenant les terres végétales, les sables meubles, les remblais de formation récente, les gravois ;
 - les terrains argileux ou caillouteux non compactes, soit les sols argileux, sols pierreux ou caillouteux, les tufs, les marnes fragmentées, les sables agglomérés par liant argileux ; et
 - les terrains compacts (argiles compactes, glaises 'mélange sablo-limoneux-argileux').
2. **les terrains rocheux ou terrains difficiles** : c'est des terrains qui nécessitent l'usage de gros engins (marteaux pneumatique, brise roche, ...) ou d'explosifs, ils comprennent :
 - Les roches tendres ;
 - Les roches dures ;
 - Les roches très dures.

II.7. Les fouilles

Le terrassement de fouilles des ouvrages d'art consiste à creuser dans le sol pour y poser de la maçonnerie telle que fondations, caves, fosses, regards, canalisations, etc.

La surface concernée par les déblais est appelée surface affouillée. Le fond de fouille désigne le niveau où s'arrête l'excavation.

En désignant par : L : la largeur de la fouille ; et

H : sa profondeur à partir du niveau de sol naturel livré après terrassements généraux.

➤ Selon la forme géométrique de la fouille, cette dernière sera classée soit en :

- ***Fouille en pleine masse ou (excavation superficielle) :*** $L \geq 2m$ et $H \leq L/2$

C'est un terrassement général de la surface à construire, dont la profondeur est fonction de l'importance de l'ouvrage, généralement exécuté jusqu'au niveau inférieur du sous-sol.

Exemples de
fouilles en
pleine masse



Un terrassement en pleine masse nécessite :

- un talus ou un ouvrage de soutènement

Stabilité
assurée à l'aide →
d'un mur de
soutènement



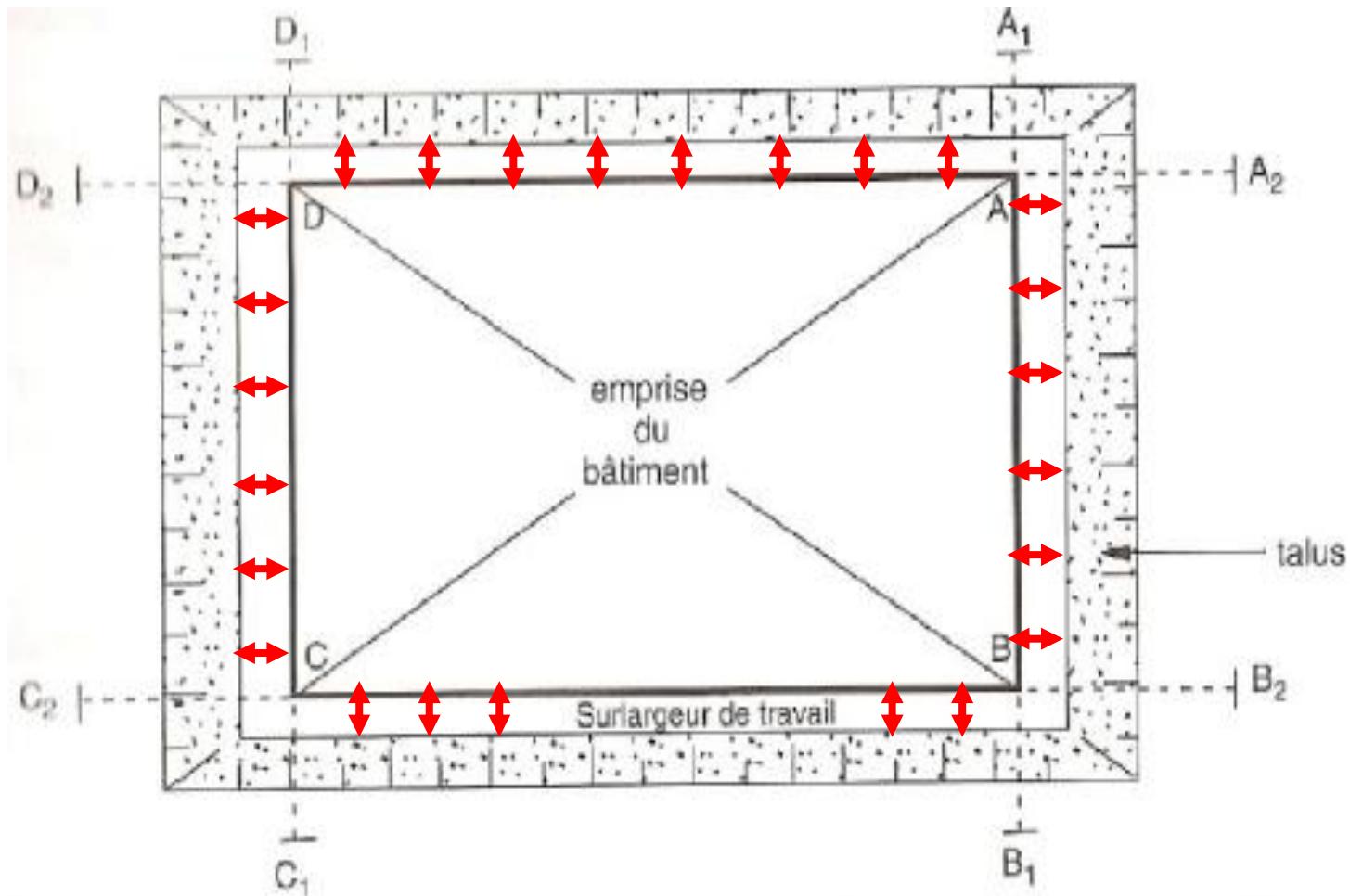
Stabilité
assurée à l'aide →
d'un talus



- une rampe pour les engins
- un moyen d'accès pour le personnel



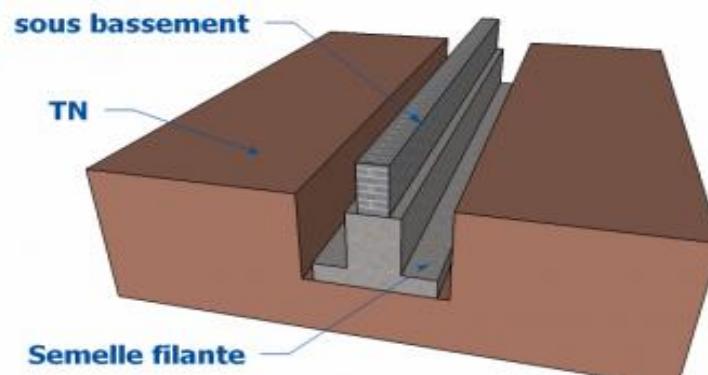
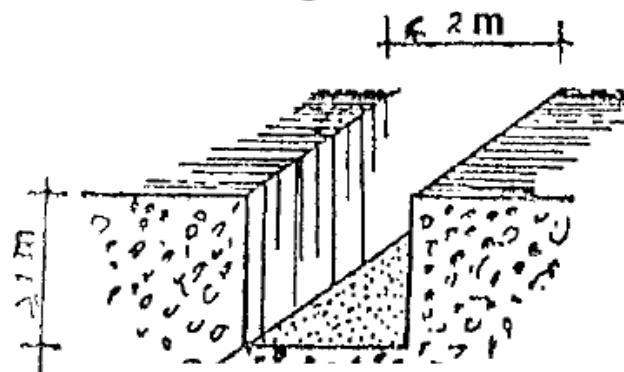
- Une surlargeur de travail (1,5m) en fond de fouille : elle permet la mis en place du coffrage et la circulation des ouvriers.



Rappel des angles du bâtiment sur des chaises extérieures à l'emprise totale du terrassement
 A_1-A_2 , B_1-B_2 ,
 C_1-C_2 , D_1-D_2

- *Fouilles en rigoles ou en fondue : $L \leq 2m$ et $H < 1m$*

C'est une tranchée destinée à recevoir les canalisations ou les fondations à semelle filantes. La largeur de la fouille est fonction de la nature du terrain et de la profondeur.

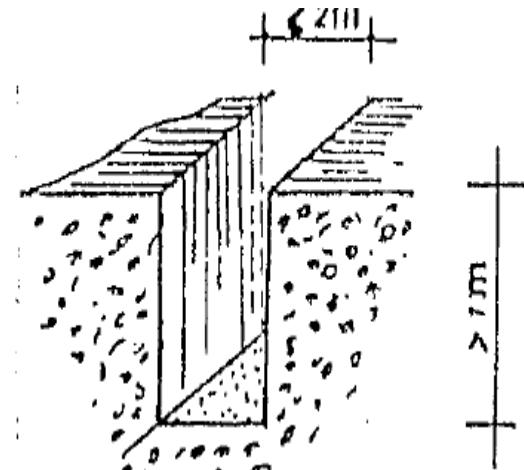


- *Fouilles en tranchée :*

Pour la réalisation des fondations linéaires profondes ou pour la pose de canalisation.
Ils sont caractérisées par :

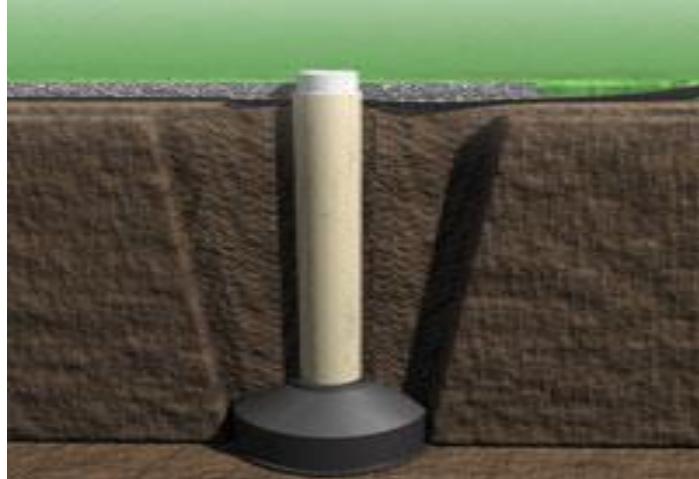
$$L \leq 2\text{ m} \text{ et } H > 1\text{ m}$$

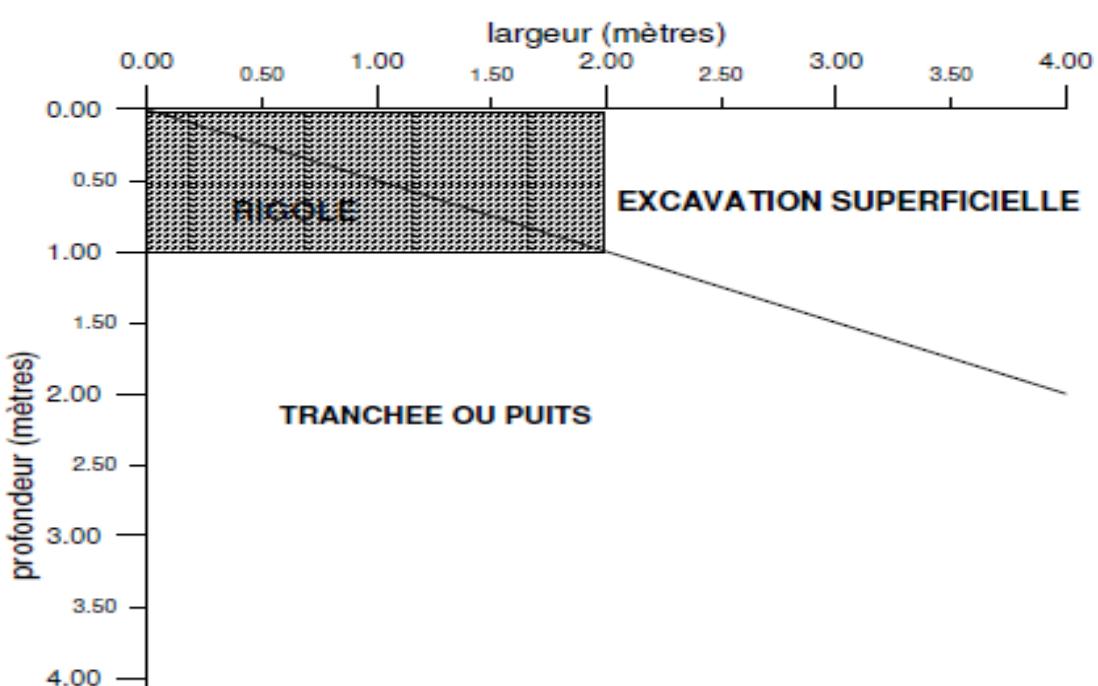
$$\text{Ou bien : } L \geq 2\text{ m} \text{ et } H > L/2$$



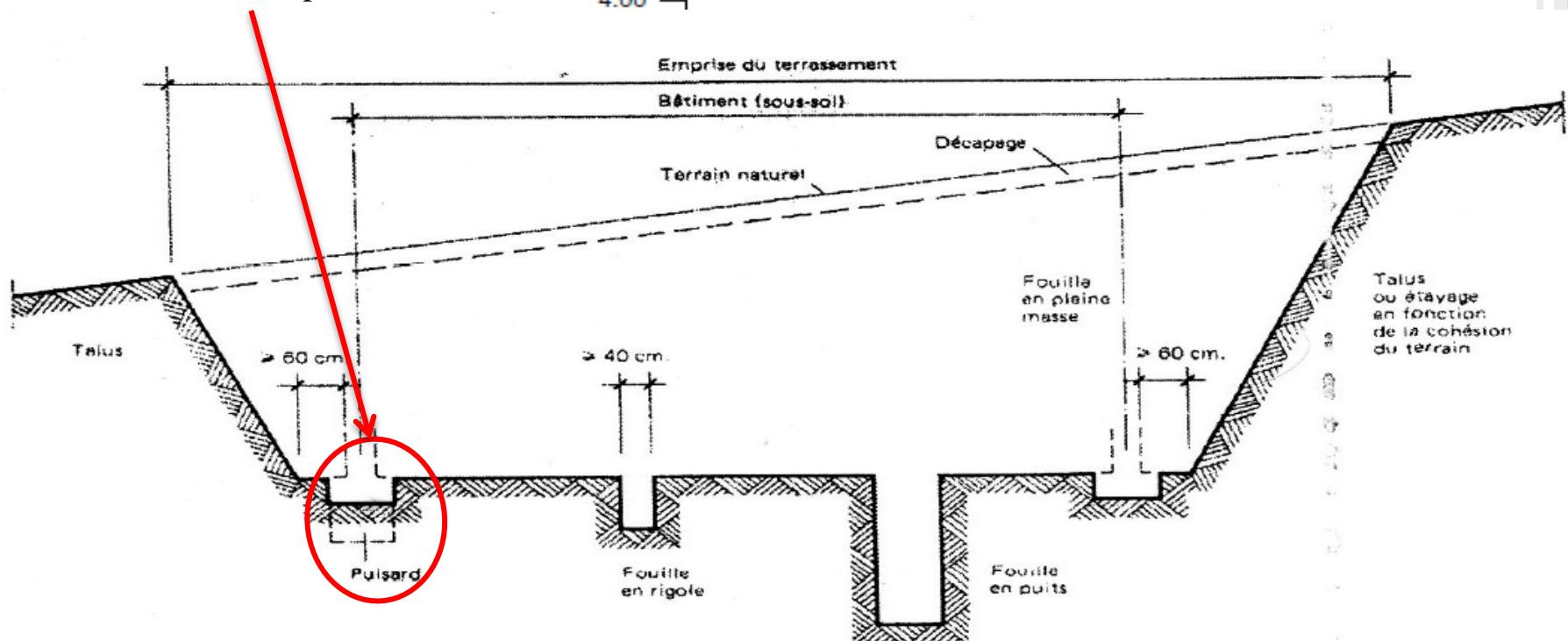
- **Fouilles en puits :** $L > 2m$ et $H > 1m$

C'est un terrassement de petite surface mais de grande profondeur. Ce genre de fouille est exécuté pour l'établissement des fondations de piliers, des fosses d'ascenseurs.





Puisard: Trou de 1m de profondeur environ, on l'installe en un point bas de la fouille, vers lequel convergent toutes les eaux de pluie.



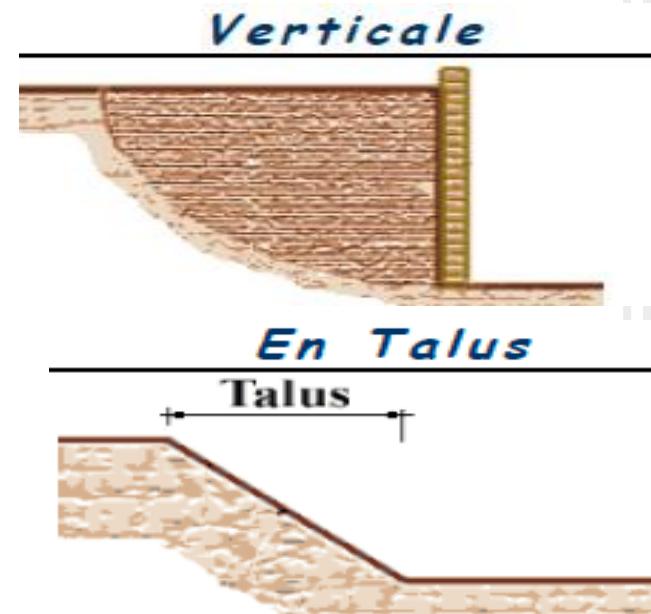
➤ Stabilité des parois de fouilles

Les caractéristiques du sol et de l'environnement du terrassement conditionnent le choix du mode d'ouverture de la fouille. Deux possibilités, parfois combinées, sont retenues :

- *La fouille talutée* : obtenue en réalisant au-delà de l'emprise des parois avec des talus naturels ; ce type de fouille peut être utilisé lorsque la surface du chantier le permet (grande surface).
- *La fouille ouverte verticalement* : fréquemment exécutée en agglomération (surface du chantier exigüe ‘Très petite’) ; mais nécessite un ouvrages de soutènement (tels que : paroi berlinoise, paroi moulée, palplanches métalliques, paroi clouée,...). Et ce, pour éviter l'effondrement d'une part et de ne pas modifier la stabilité des constructions voisines d'autre part.



Pour assurer la
stabilité des parois
des fouilles





paroi berlinoise



palplanches métalliques



paroi clouée

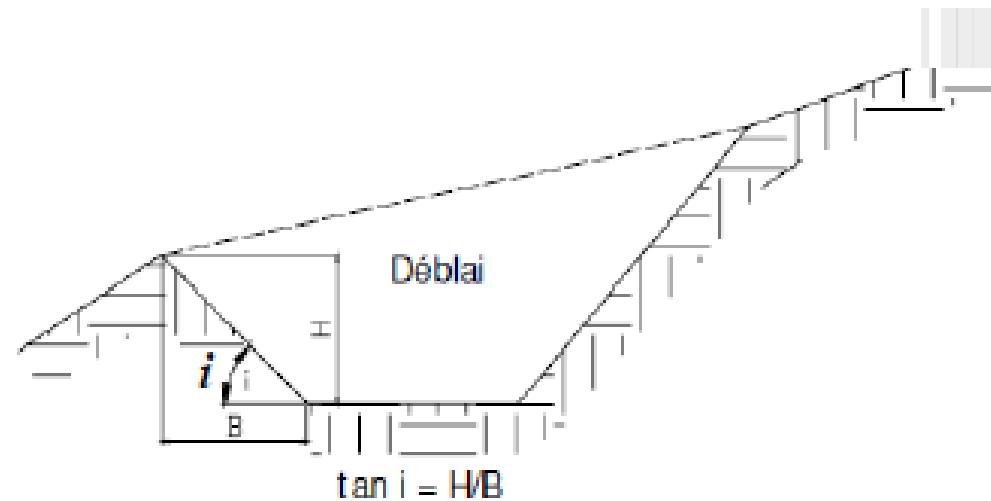
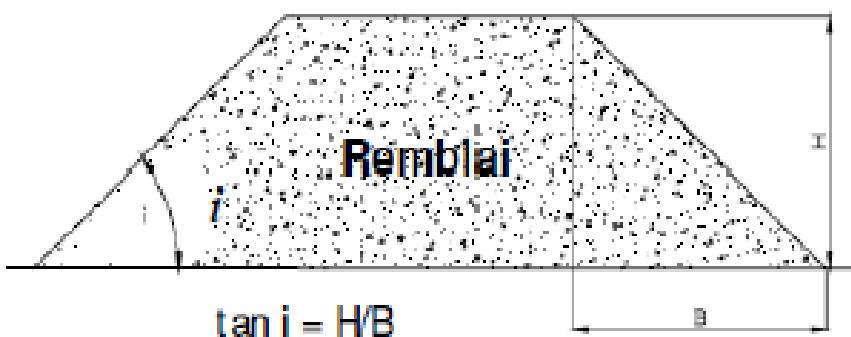
II.8. Pente des talus, remblais ou déblais

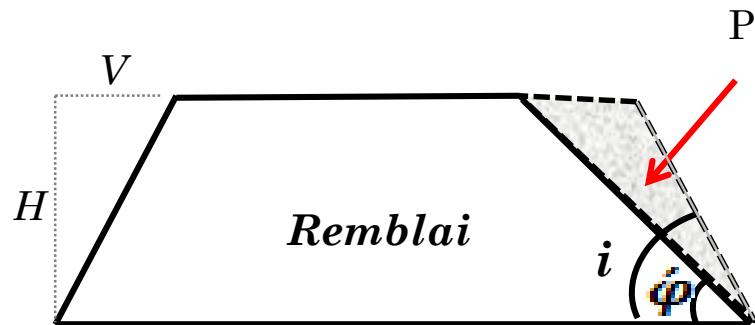
On nomme *angle du talus naturel* d'une terre ϕ , l'angle maximum que cette terre peut faire avec l'horizontale, sans avoir tendance à s'ébouler. Cet angle dépend de :

- La nature du sol (cohérent ou non)
- De la teneur en humidité (sol sec ou non)

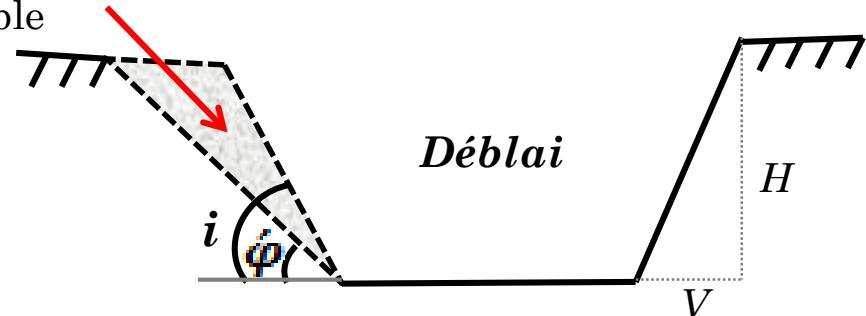


Désignant par « i » la pente du talus à exécuter (en déblai ou en remblai), déterminé par sa tangente (rapport H/V), comme indiqué sur la figure. Alors, pour assurer la stabilité de ce talus tant en déblai qu'en remblai, il faut lui fournir une angle satisfaisant la condition suivante : $i \leq \phi$





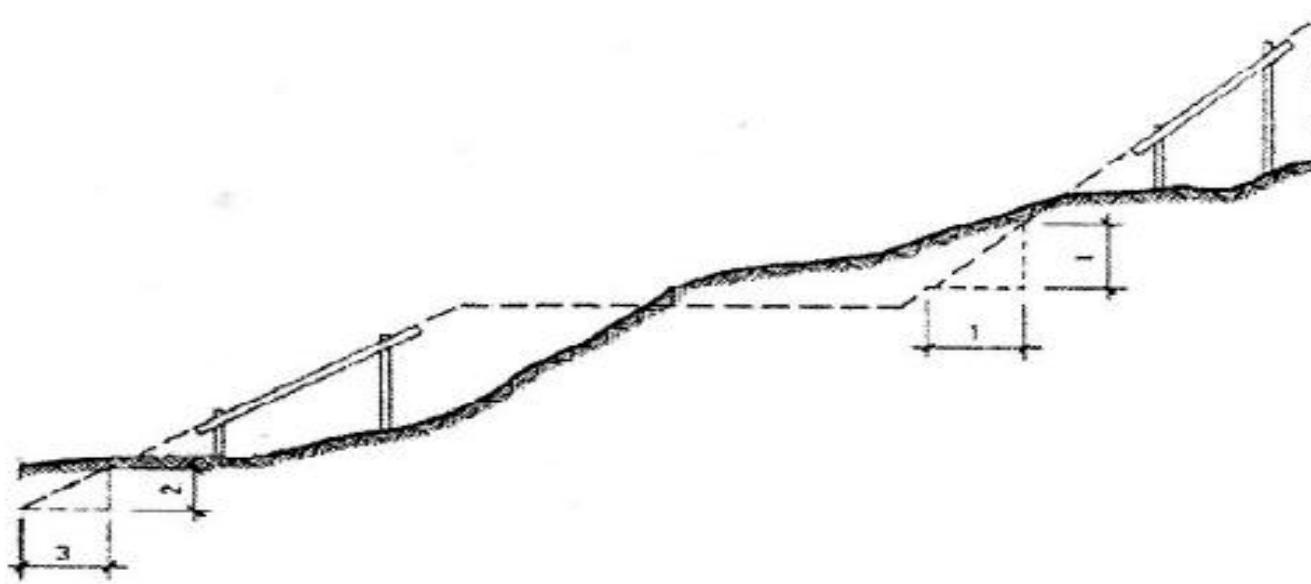
Partie de la terre
instable



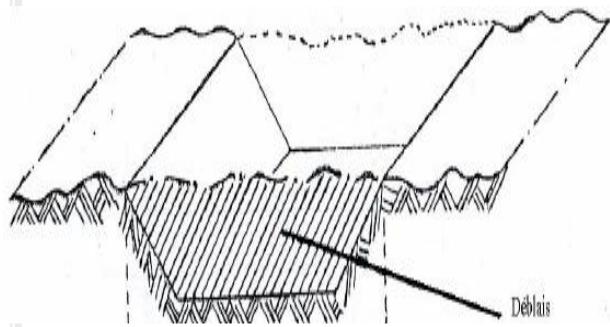
Exemple d'un remblai instable ($i > \phi'$)

Exemple d'un déblai instable ($i > \phi'$)

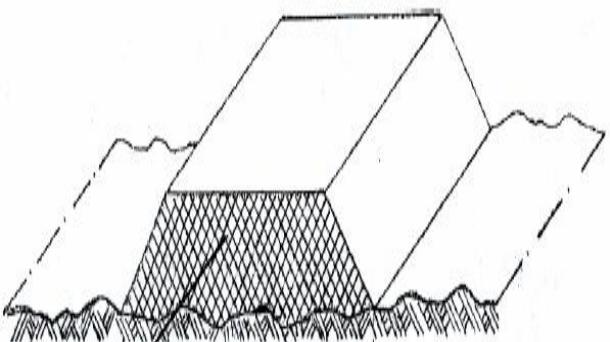
NB. Les pentes des talus généralement admise est de $2/3$ pour un remblai et $1/1$ pour un déblai



Les tableaux suivants nous donnent les valeurs les plus couramment utilisées pour les pentes de talus en déblai et en remblai.



Type de sols	Déblai (en terrain naturel)			
	Zone sèche H/V	Zone immergée H/V		
Rocher compact	80°	1/5	80°	1/5
Roc friable	55°	2/3	55°	2/3
Débris rocheux	45°	1/1	40°	5/4
Terre et pierres	45°	1/1	30°	2/1
Terre argileuses	40°	5/4	20°	3/1
Gravier et sable	35°	3/2	30°	2/1
Sable fin	30°	2/1	20°	3/1



Type de sols	Remblai			
	Zone sèche H/V	Zone immergée H/V		
Rocher compact	45°	1/1	45°	1/1
Roc friable	45°	1/1	45°	1/1
Débris rocheux	45°	1/1	45°	1/1
Terre et pierres	35°	3/2	30°	2/1
Terre argileuses	35°	3/2	20°	3/1
Gravier et sable	35°	3/2	30°	2/1
Sable fin	30°	2/1	20°	3/1

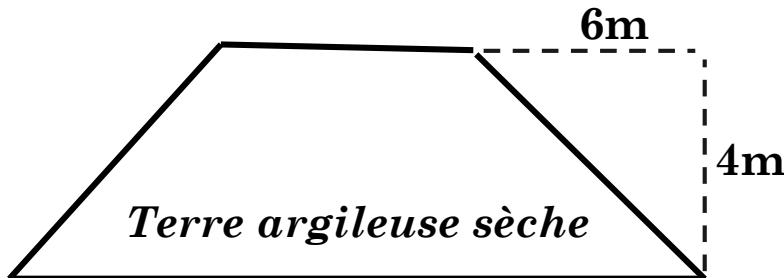
Exemple :

Si on veut réaliser une excavation en talus de 4 m de profondeur dans une terre argileuses sèche; le rapport H/V dans ce cas = 5/4

$$H/V = H/5 = 5/4 \rightarrow H = 5/4 * 4 = 20/4 = 5 \text{ m}$$

On doit laisser une distance horizontale égale à 5m

Le remblaiement de cette même terre avec une hauteur de 4m, nécessite un rapport H/V=3/2 $\rightarrow H = 3/2 * 4 = 12/2 = 6 \text{ m}$



MERCI DE VOTRE ATTENTION

