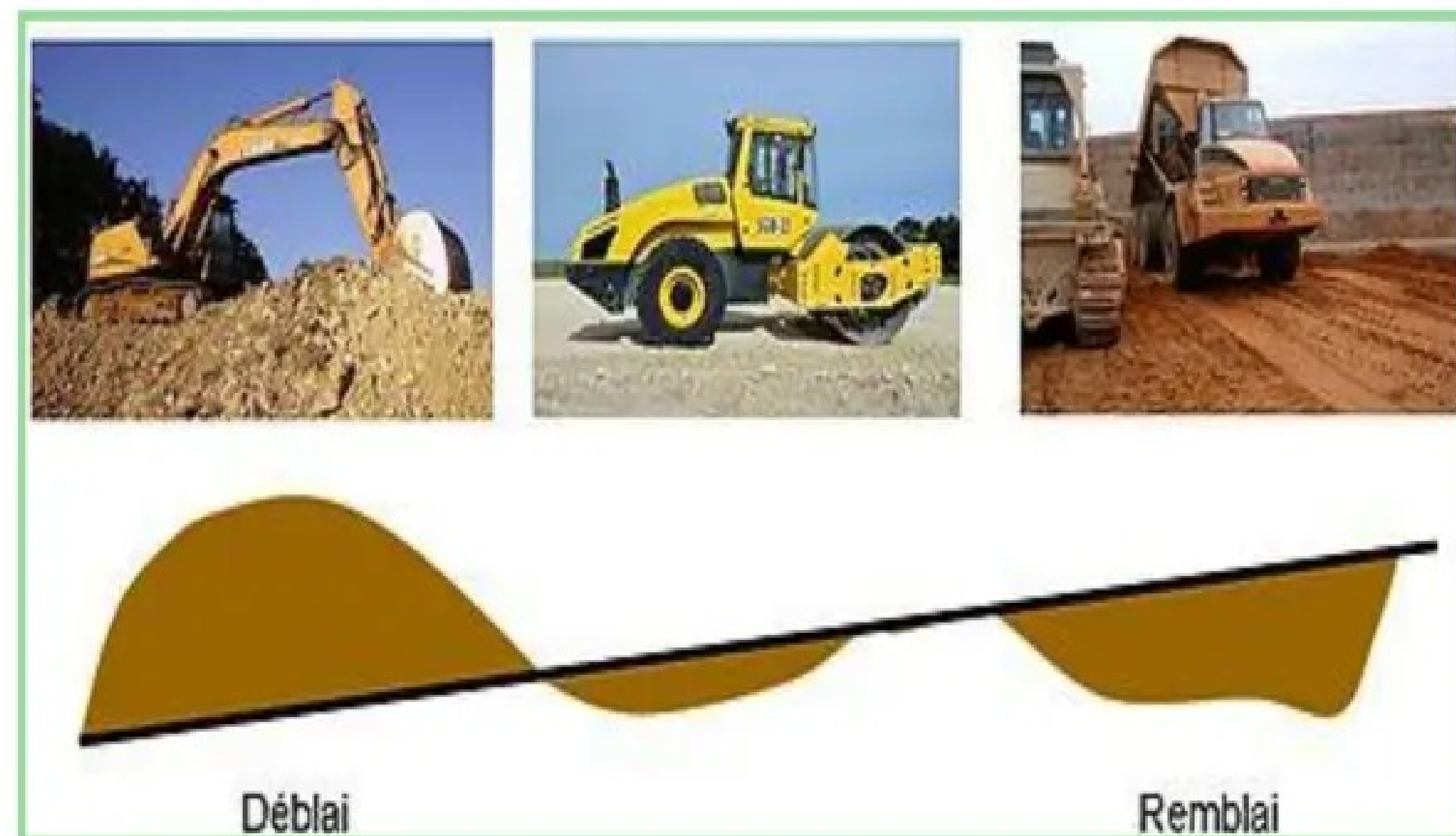


NIVEAU TS 1ere année

## Terrassement Général

Terrassement



# Séquence 1

## Les techniques de terrassements



# TERRASSEMENTS DES SOLS



## S.I- TERRASSEMENTS

Pour construire un ouvrage, quel qu'il soit ( tunnel, route, pont, bâtiment, barrage, ...), il est nécessaire de modifier le terrain naturel. Il faut profiler la surface du terrain de telle sorte qu'il soit apte à supporter le poids de l'ouvrage et à en intégrer la forme. L'ensemble de ces opérations s'appelle "le terrassement" .Référence dans le D.T.U 12

**Terrasser est un travail composite pouvant comprendre :**

- De l'extraction de matériaux, au compactage, avec peut être du décapage de la terre végétale, et de la mise en dépôt des terres.

**Il n'existe pas un seul matériau à terrasser mais plusieurs sortes possibles :**

Rochers - terre - gravier et sable - limon - argile

Il est à noter que les modes de quantification pour la facturation sont fonction du type de terrassement, de la nature du terrain, des dimensions des fouilles et de l'accessibilité du site.





## S.I- TERRASSEMENTS

### ***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 :

- les terrains légers (terres végétales , sables lâches, remblais de formation récente gravois
- les terrains ordinaires (sols argileux , sols pierreux ou caillouteux , tufs ...)
- les terrains lourds (argiles compactes, glaises, sables fortement consolidés)
- les terrains très lourds (roches et rochers)

Tous ces terrains ne nécessitent, en général que des moyens mécaniques d'extraction.



## S.I- TERRASSEMENTS

### 2. les terrains rocheux ou terrains difficiles.

- Les roches tendres
- Les roches demi dures
- Les roches dures
- Les roches très dures.

Ces terrains nécessitent dans la plupart des cas l'emploi de moyens spéciaux tels que les explosifs ou encore l'emploi de gros engins tels que le brise roche ou le marteau piqueur encore si la fouille reste modeste.

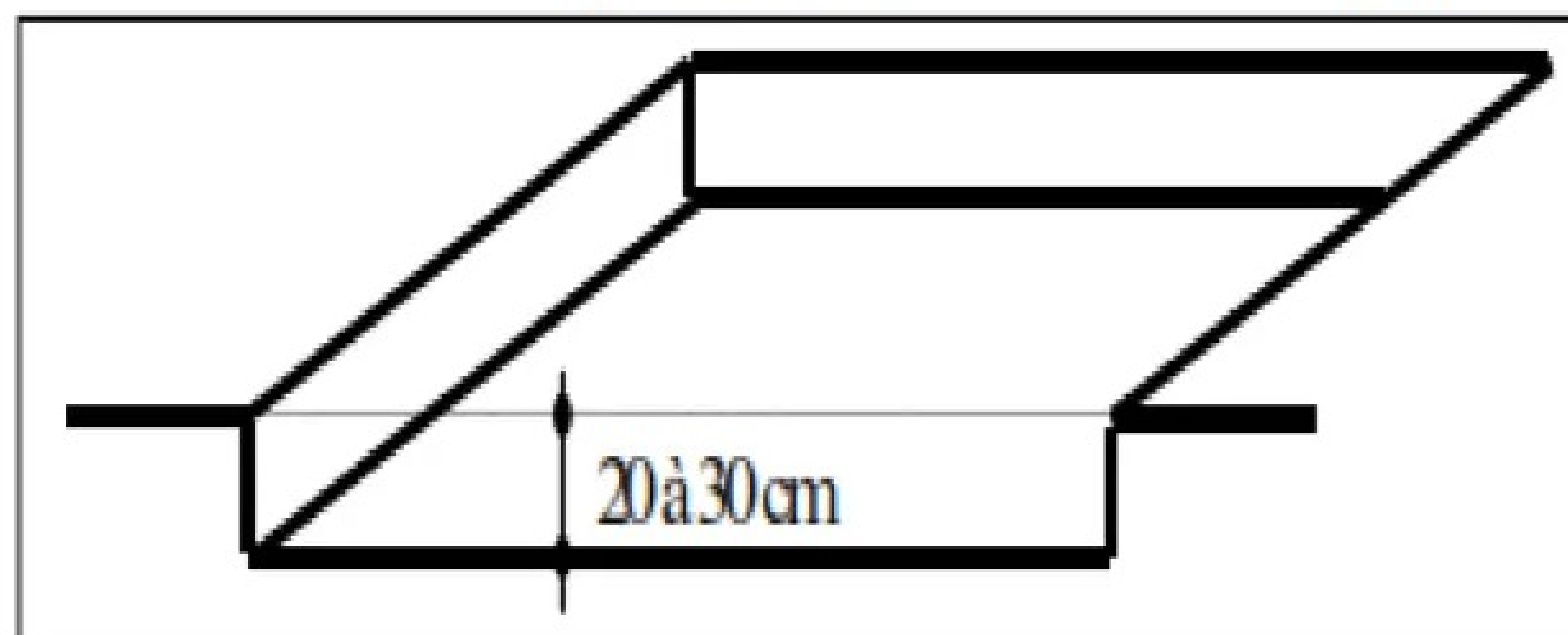


## S.I- TERRASSEMENTS

### Terminologie

- Décapage en surface (décapage de la terre végétale).

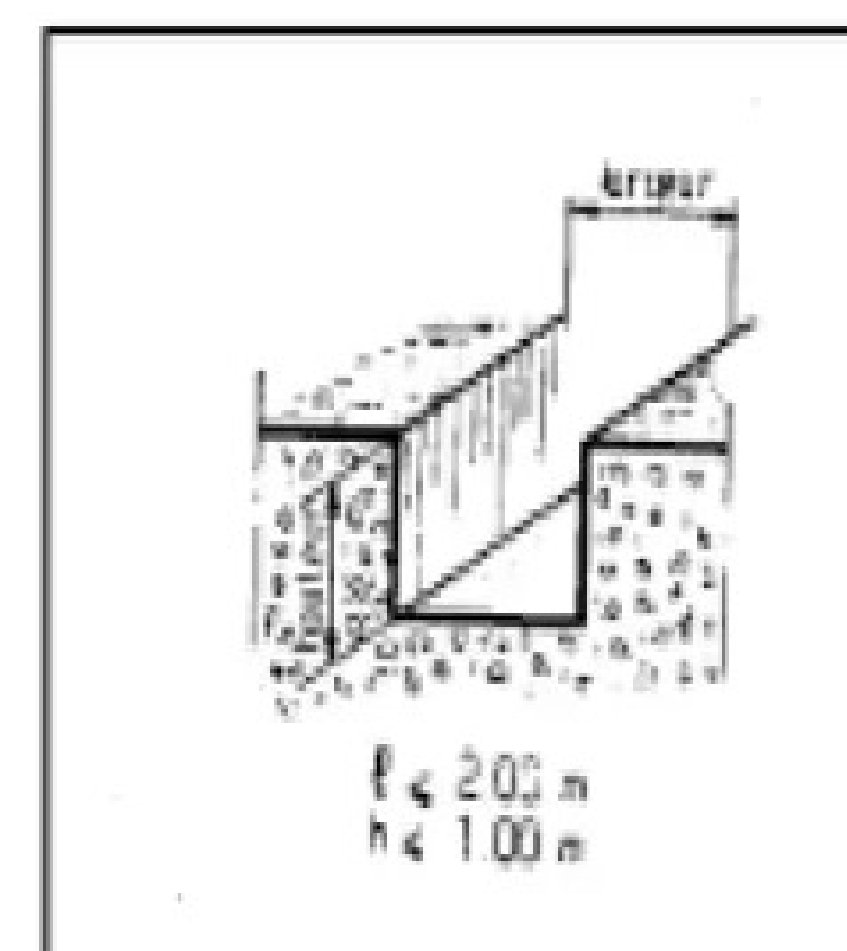
L'épaisseur de la couche à décapier varie de 20 à 30 cm. On quantifie souvent ce décapage en  $m^2$ .



- Fouilles en rigoles pour fondations.

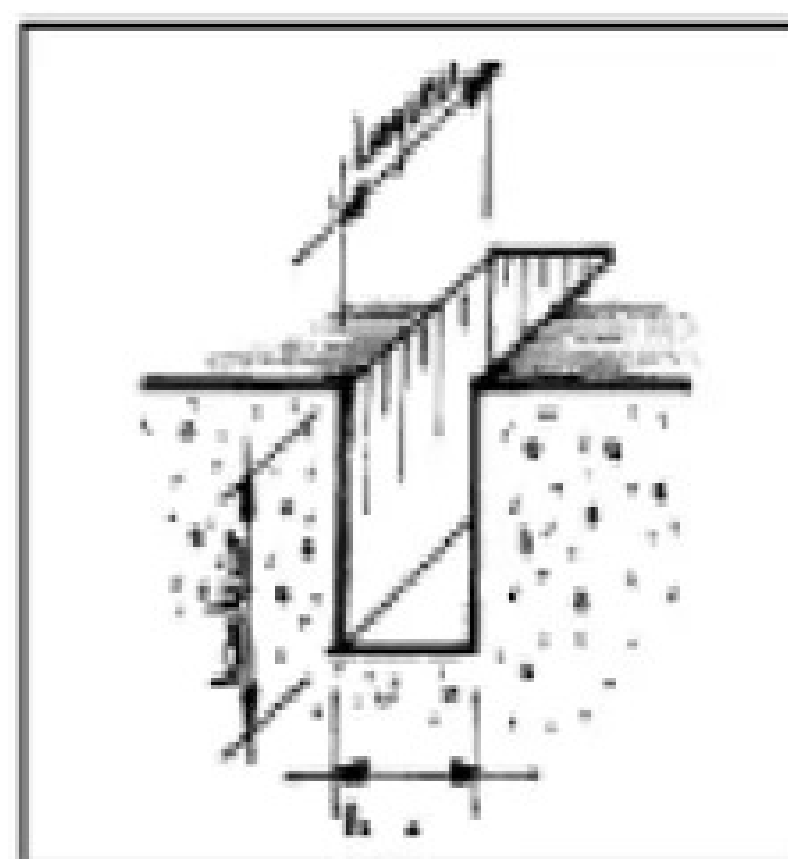
Elles correspondent aux semelles filantes (fondations sous les murs et les voiles de l'ouvrage).

Quantifiées au  $m^3$



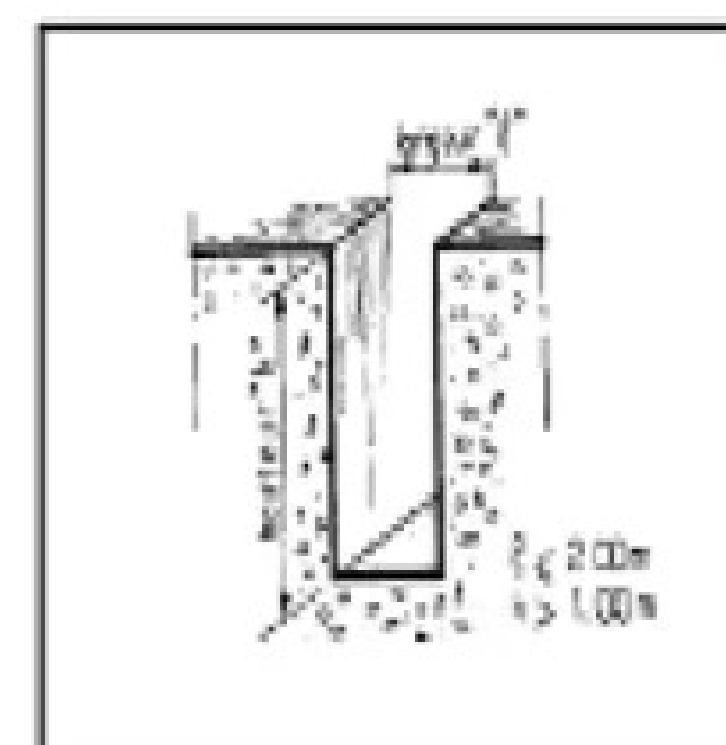
- Fouilles en trous pour fondations.

Elles correspondent aux semelles isolées (ex : fondations sous les poteaux, sous les murs isolés de petites dimensions).



- Fouilles en tranchées.

Elles sont réalisées en général pour la pose de canalisations.





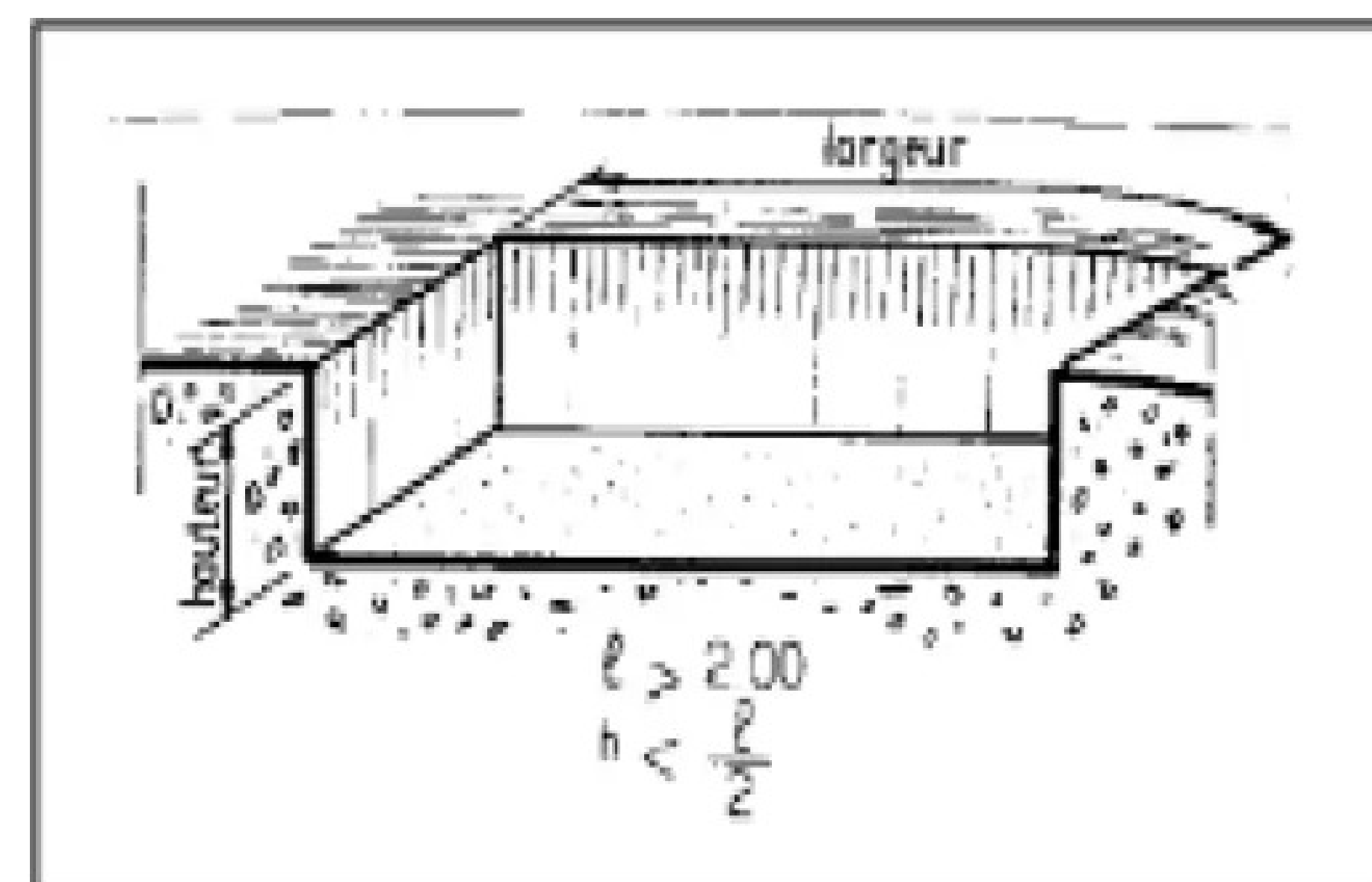
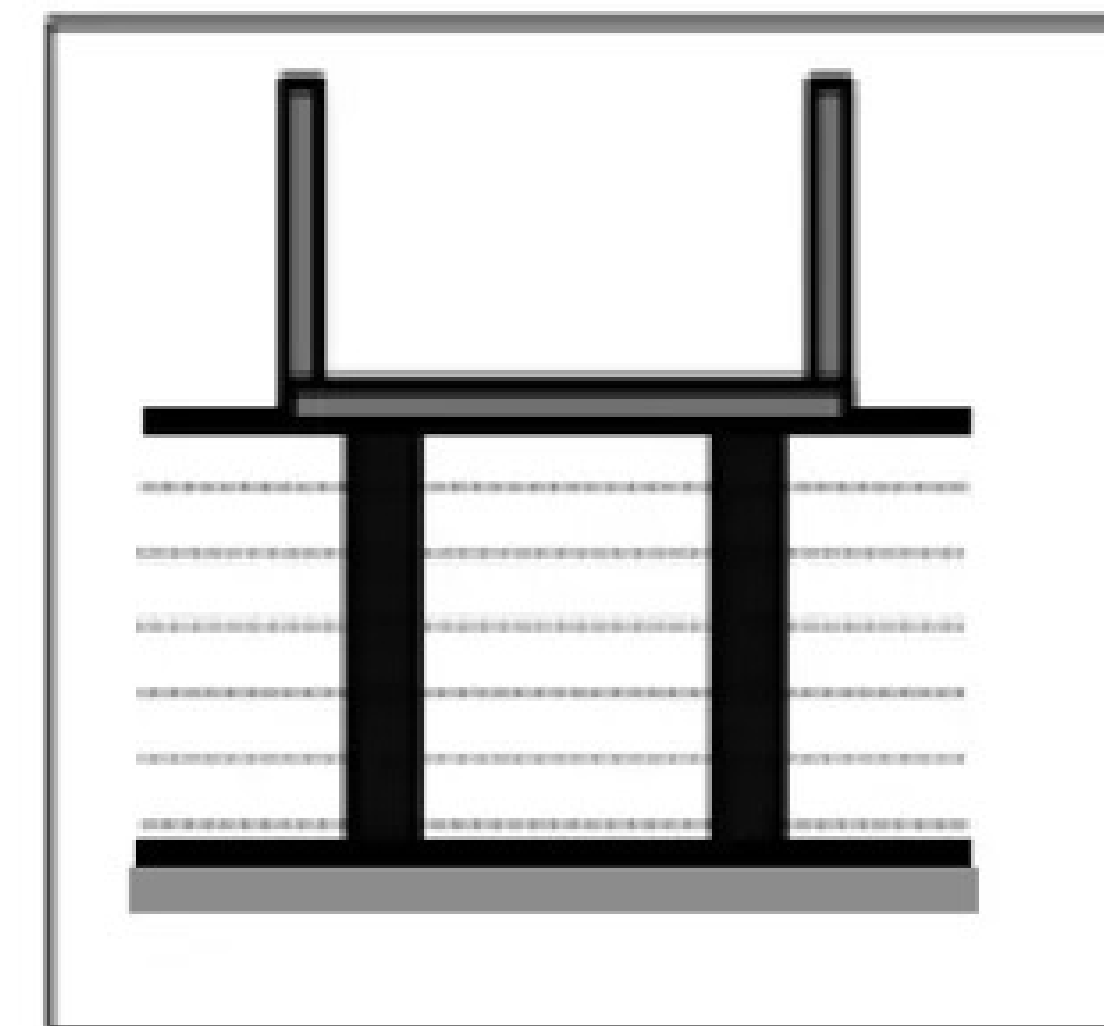
## S.I- TERRASSEMENTS

### Fouilles en puits.

Ces fouilles permettent la réalisation de fondations semi-profondes qui transmettent les charges de l'ouvrage sur un sol approprié.

- Fouilles en pleine masse ou en excavation.

Cela englobe des travaux d'envergure aussi bien en surface qu'en hauteur.



## S.I- TERRASSEMENTS

### ***Les fouilles.***

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

- Fouille en rigole lorsque la double condition suivante est réalisée :

$$\begin{array}{l} l \leq 2m \\ h \leq 1m \end{array} : \text{ Avec } l = \text{longueur et } h = \text{profondeur}$$

- Fouille en tranchée :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } l \leq 2m \text{ avec } h > 1m$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } l > 2m \text{ avec } h > \frac{1}{\gamma}$$

Ces fouilles sont utilisées pour construire les égouts, pour effectuer les reprises en sous œuvre ou pour réaliser des fondations profondes.



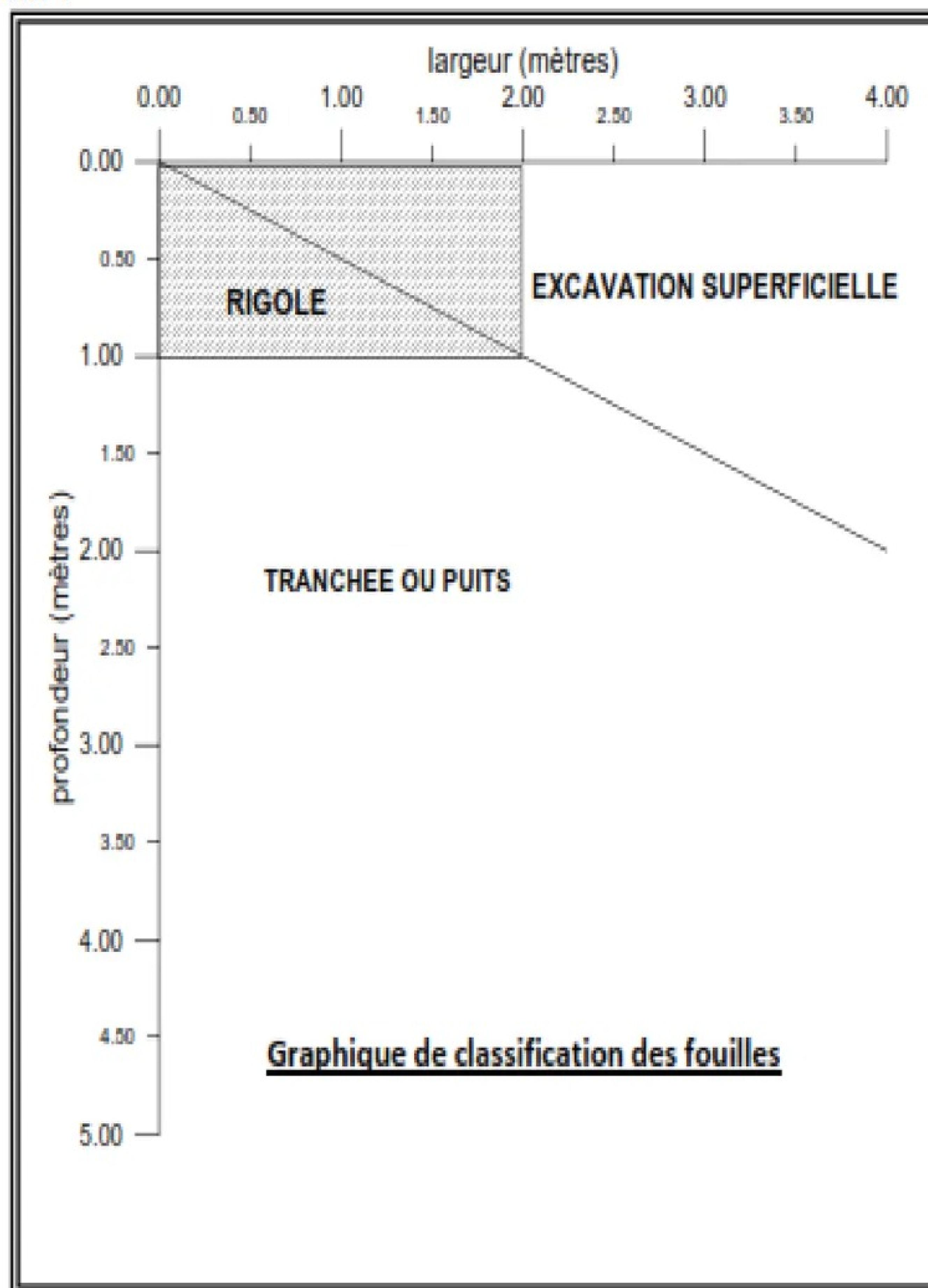


## S.I- TERRASSEMENTS

- Fouilles en puits ou (trous) : on les appelle ainsi lorsque  $h > 1m$  et que la longueur  $L$  est du même ordre que la largeur  $l$

- Excavation superficielle .Une fouille et c sa largeur  $l$  et sa profondeur  $h$  satisfont a  
 $l \geq 2m$  et  $h$

**NOTA :** La profondeur  $h$  est dans tous les cas n livré après terrassements généraux.

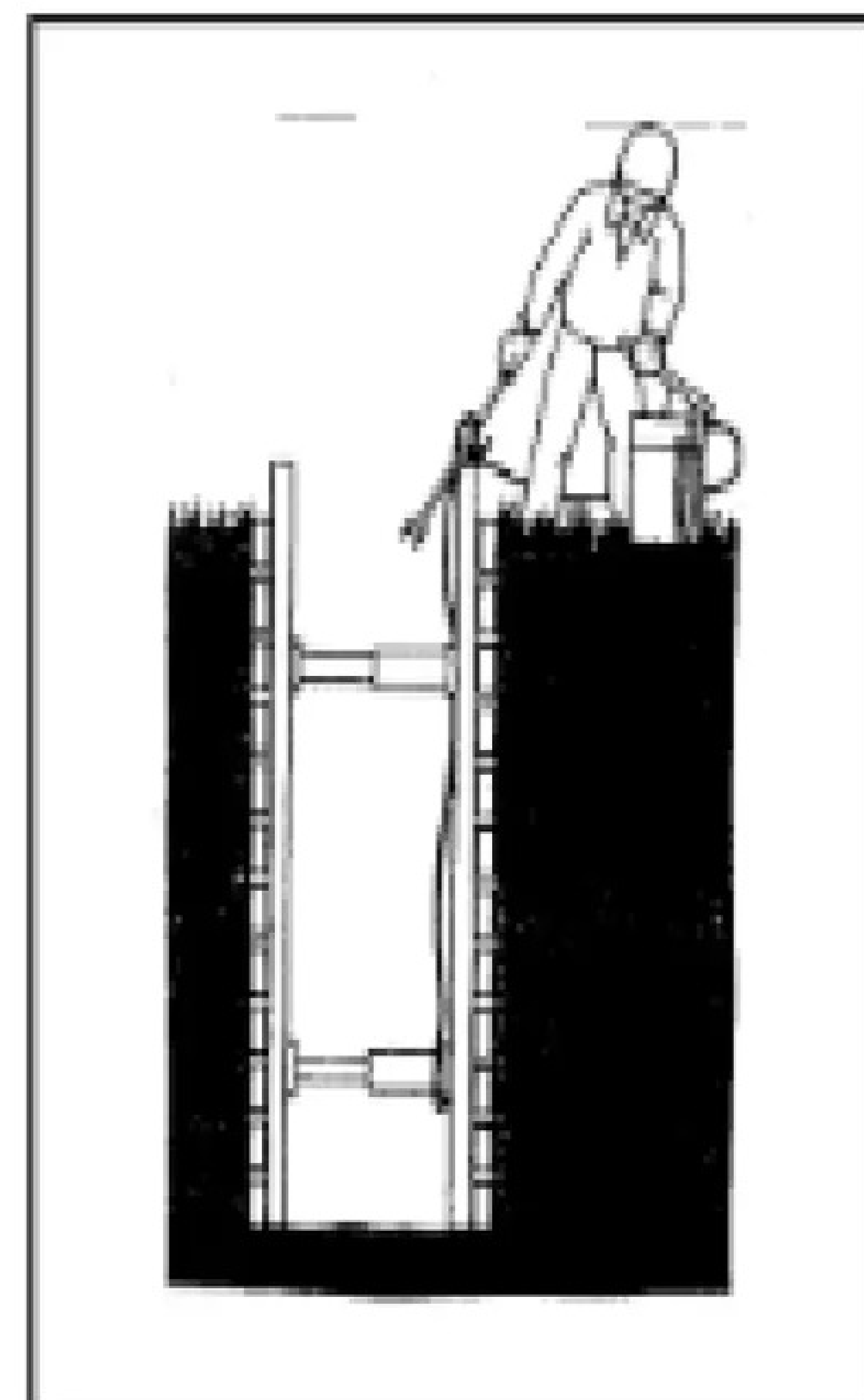
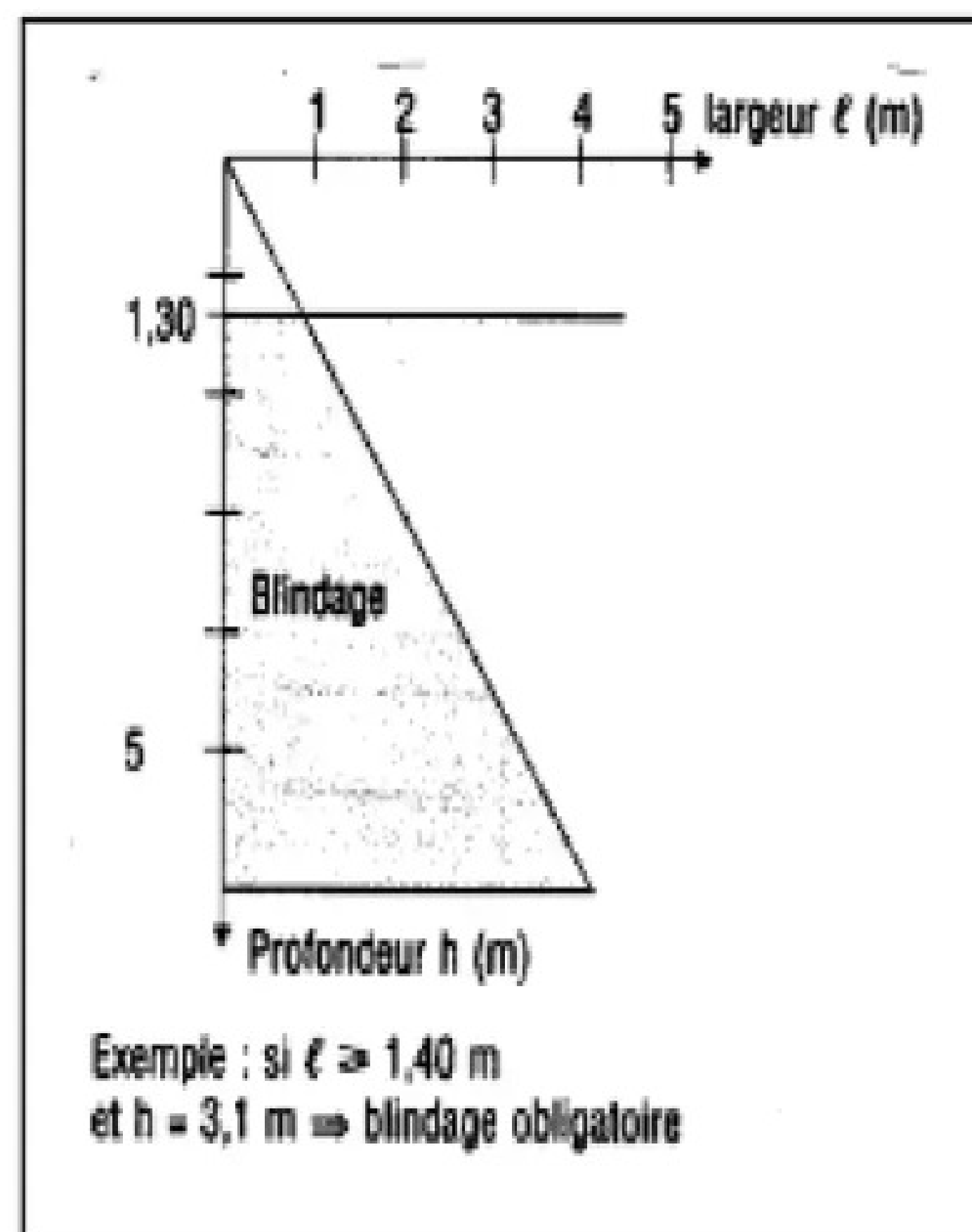


## S.I- TERRASSEMENTS

### Le Blindages des fouilles

La hauteur parfois importante de ces terrassements impose la mise en place d'un blindage.

En règle générale, le blindage est requis à partir d'une profondeur de 1.30 m pour les tranchées de largeur inférieure à 1.00 m.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Blindage des fouilles - Tableau récapitulatif

Type de blindage	Emploi	Observations
<i>Platelage butonné</i>	fouille en tranchée provisoire hors nappe	gêne dans les travaux de terrassement
<i>Tubage</i>	fouille en puits provisoire présence de nappe admise	
<i>Parois berlinoises</i>	pleine masse provisoire ou définitif hors nappe ou terrain drainable	emploi en site urbain ; coffrage de la paroi extérieure ; peu coûteux
<i>Parois moulées</i>	pleine masse définitif présence de nappe admise	emploi en site urbain ; s'intègre à la structure du bâtiment ; installation de chantier lourde et relativement coûteuse
<i>Rideaux de palplanches</i>	pleine masse provisoire présence de nappe ou définitif admise	nuisance pour les riverains ; récupération aléatoire
<i>Parois clouées</i>	pleine masse provisoire hors nappe	talutage éventuel ; peu coûteux





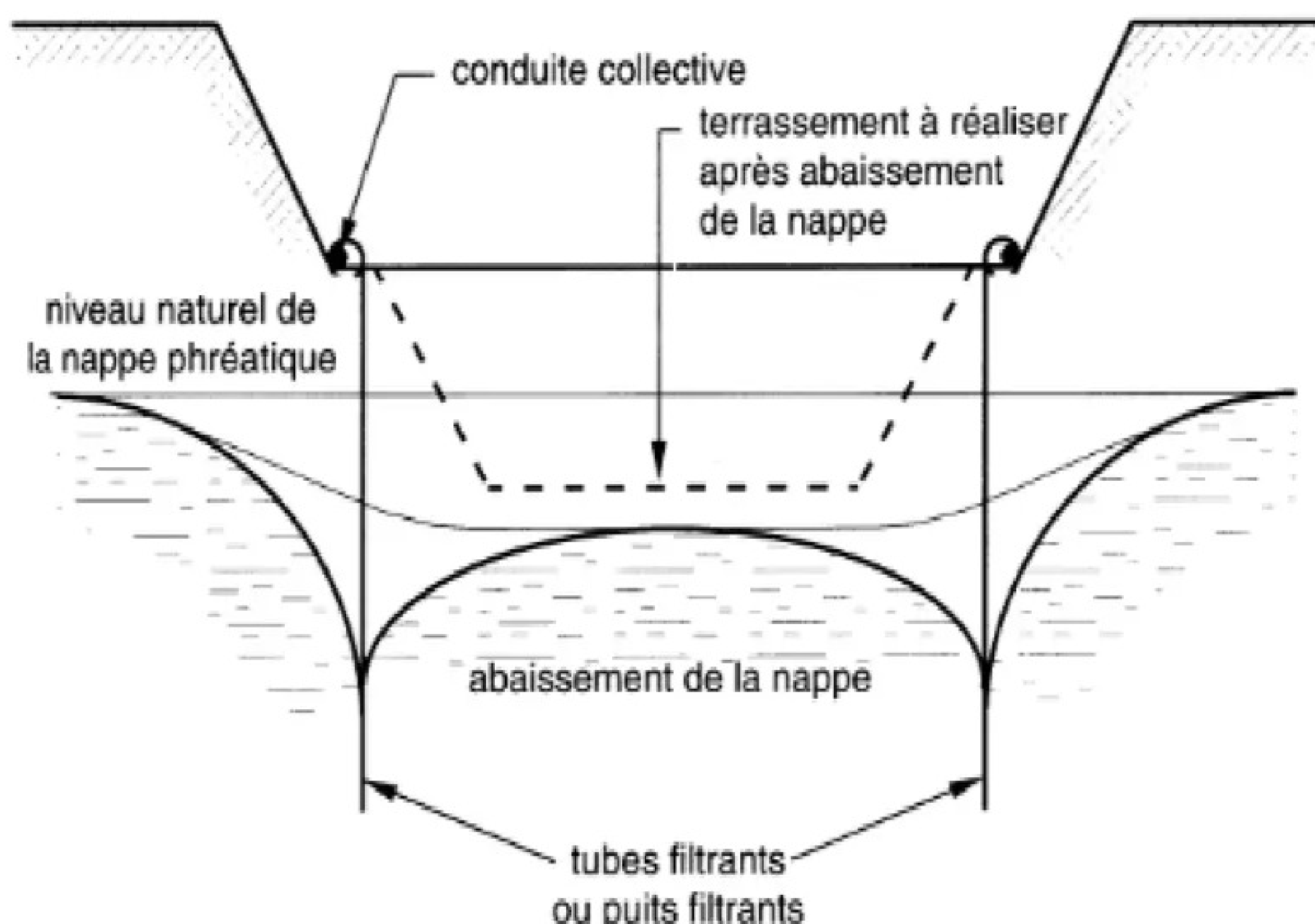
## S.I- TERRASSEMENTS

### Terrassement en présence d'eau

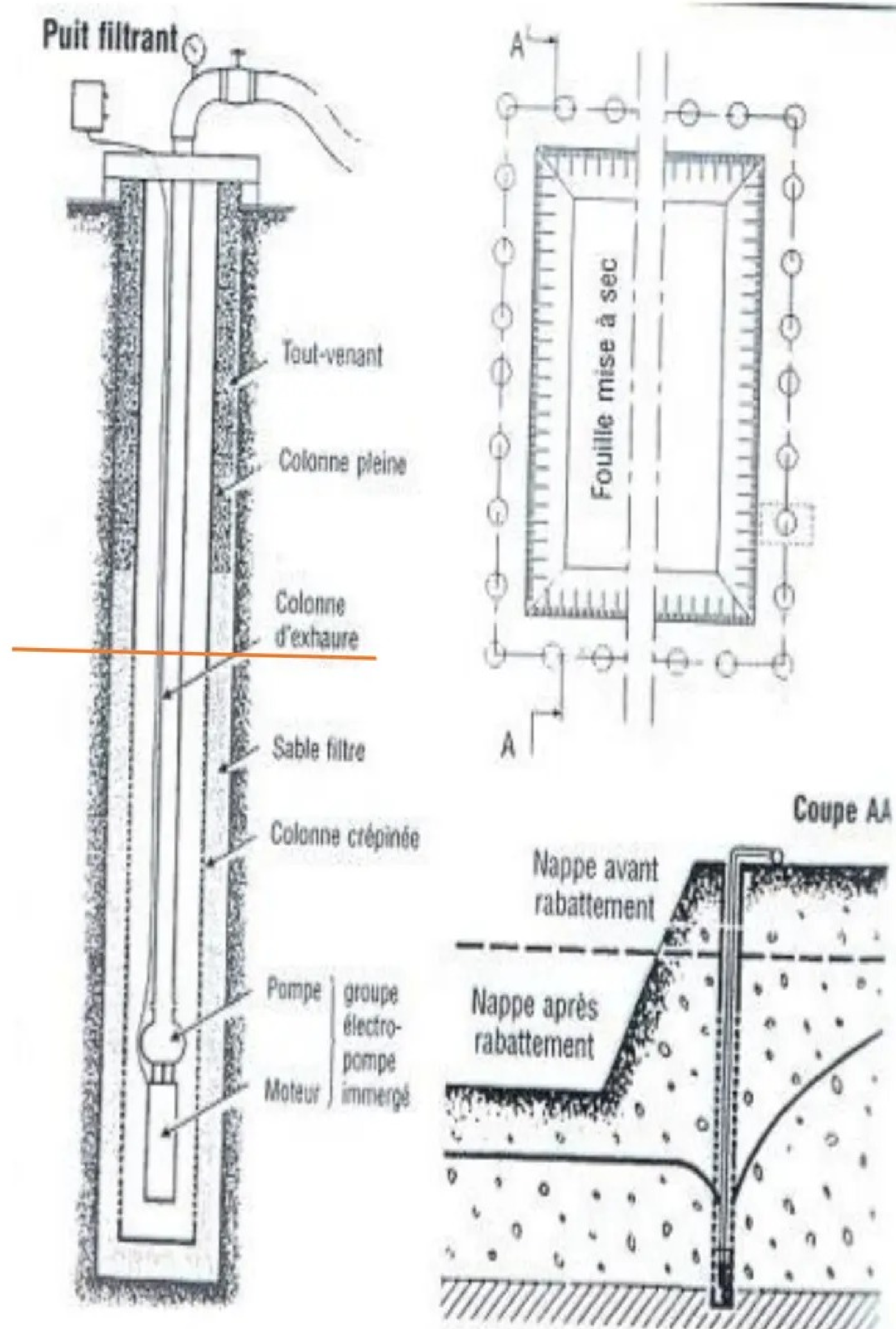
La présence d'eau dans les sols ,modifie de manière non négligeable ses caractéristiques et les modes de terrassements pour cela il faut :

- Collecter les eaux de ruissellement
- Pomper les venues d'eau (faible) ou drainer
- Dans le cas de nappe phréatique avec présence d'eau permanente il faut procéder à un rabattement de nappe a

#### Rabattement de nappe par pompage



## S.I- TERRASSEMENTS

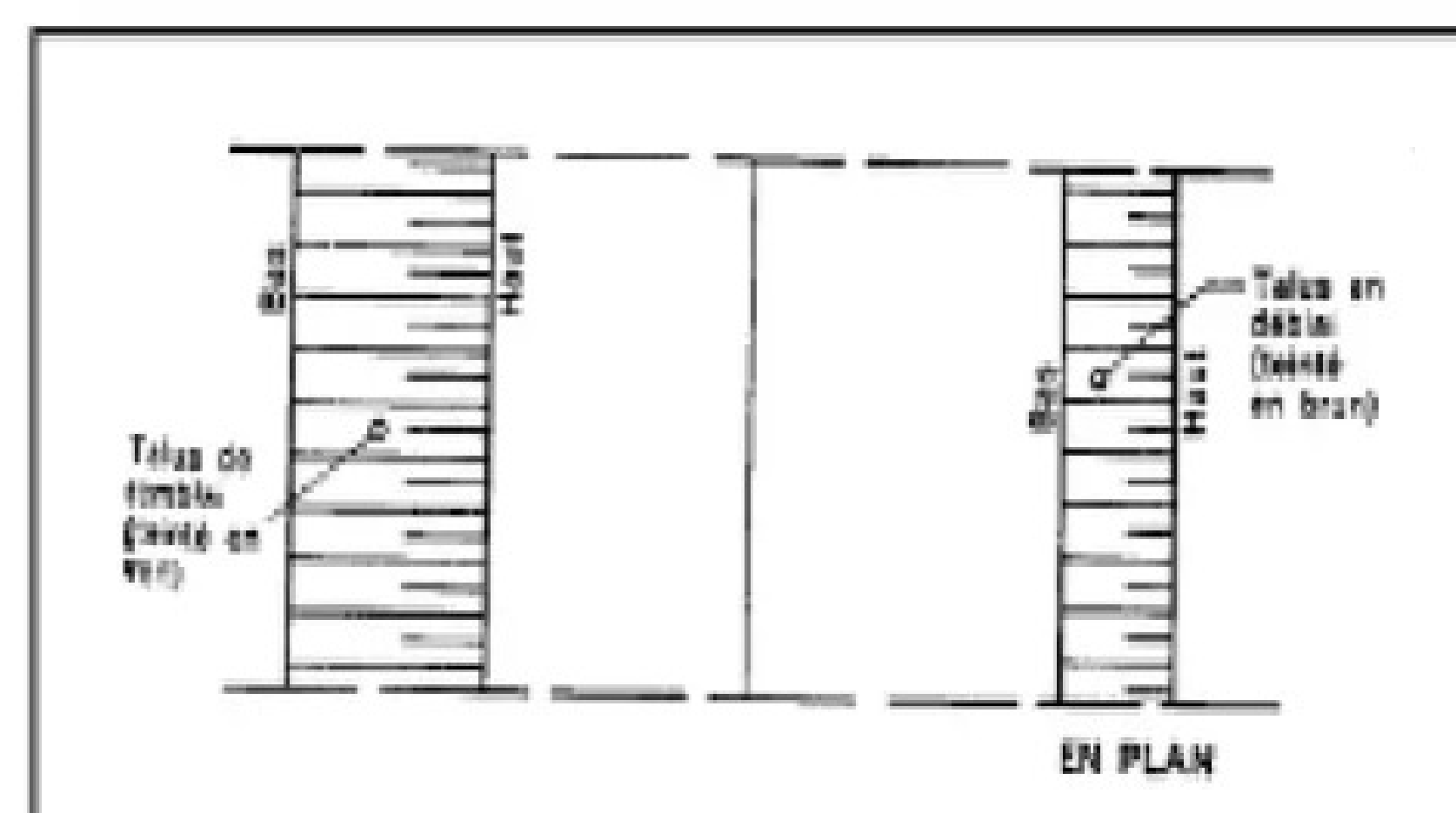
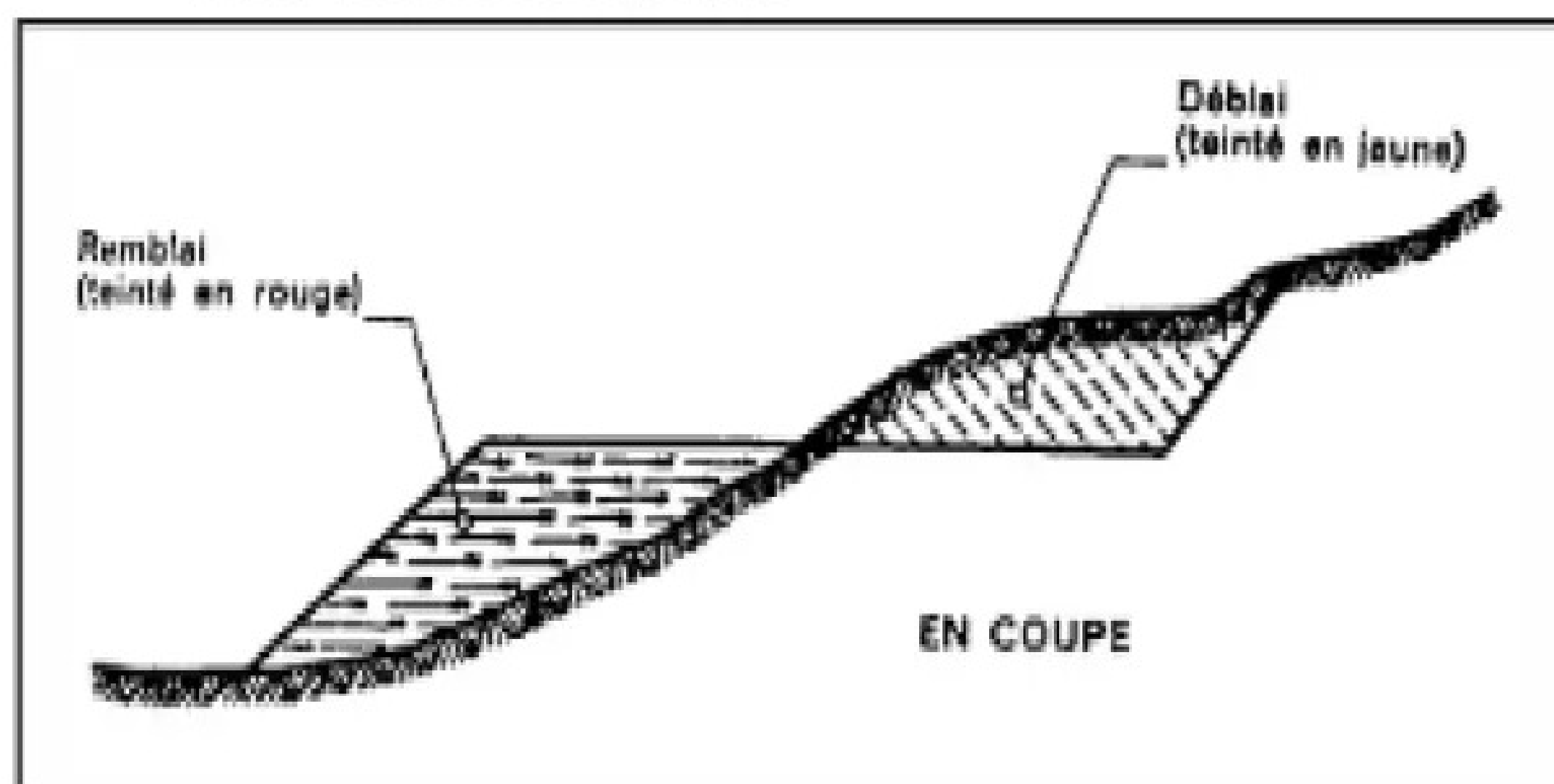




## S.I- TERRASSEMENTS

- Le déblai consiste à enlever des terres
- le remblai à apporter des terres

Déblais et remblais représentent également, en termes de métier, les terres extraites ou accumulées d'un terrassement.



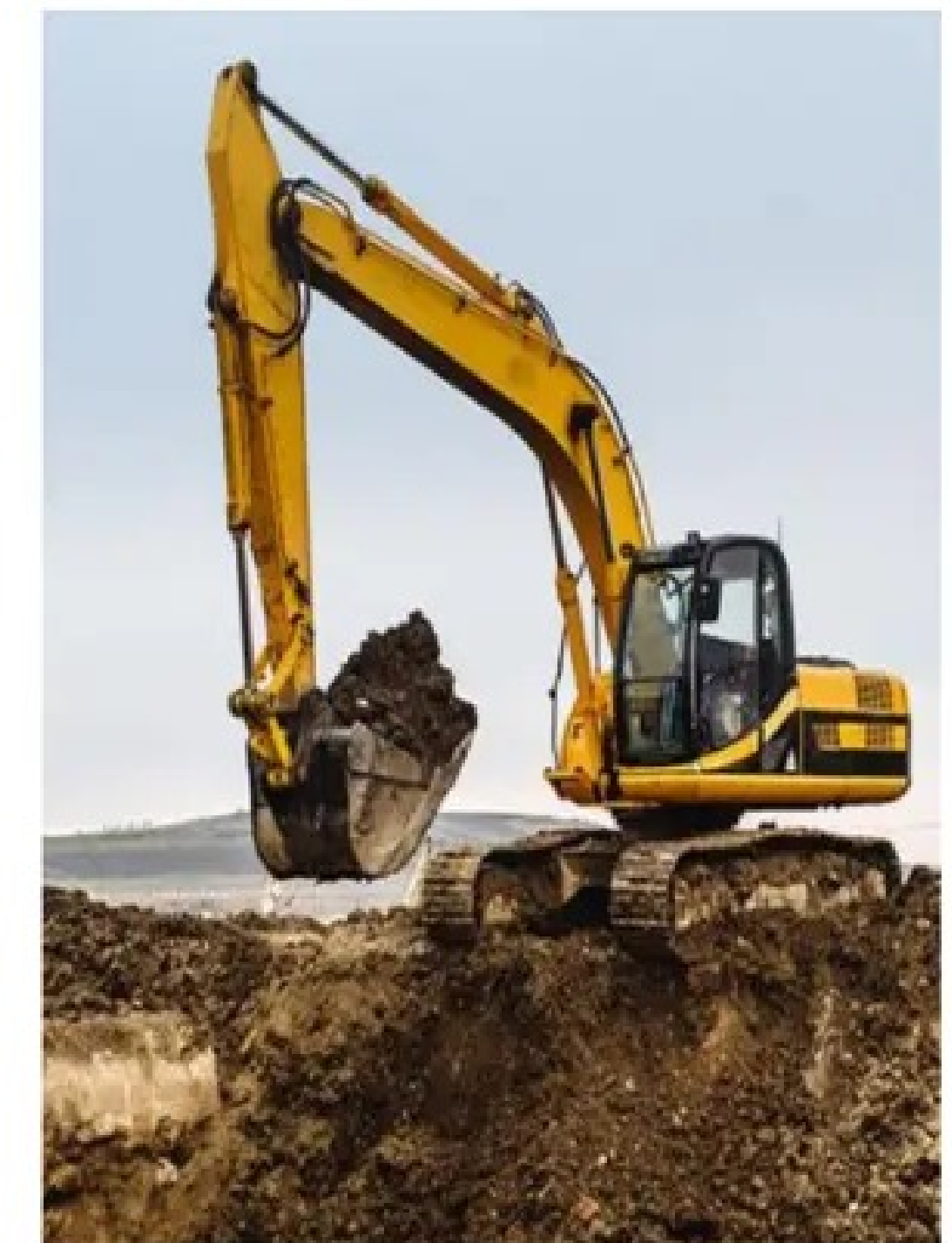
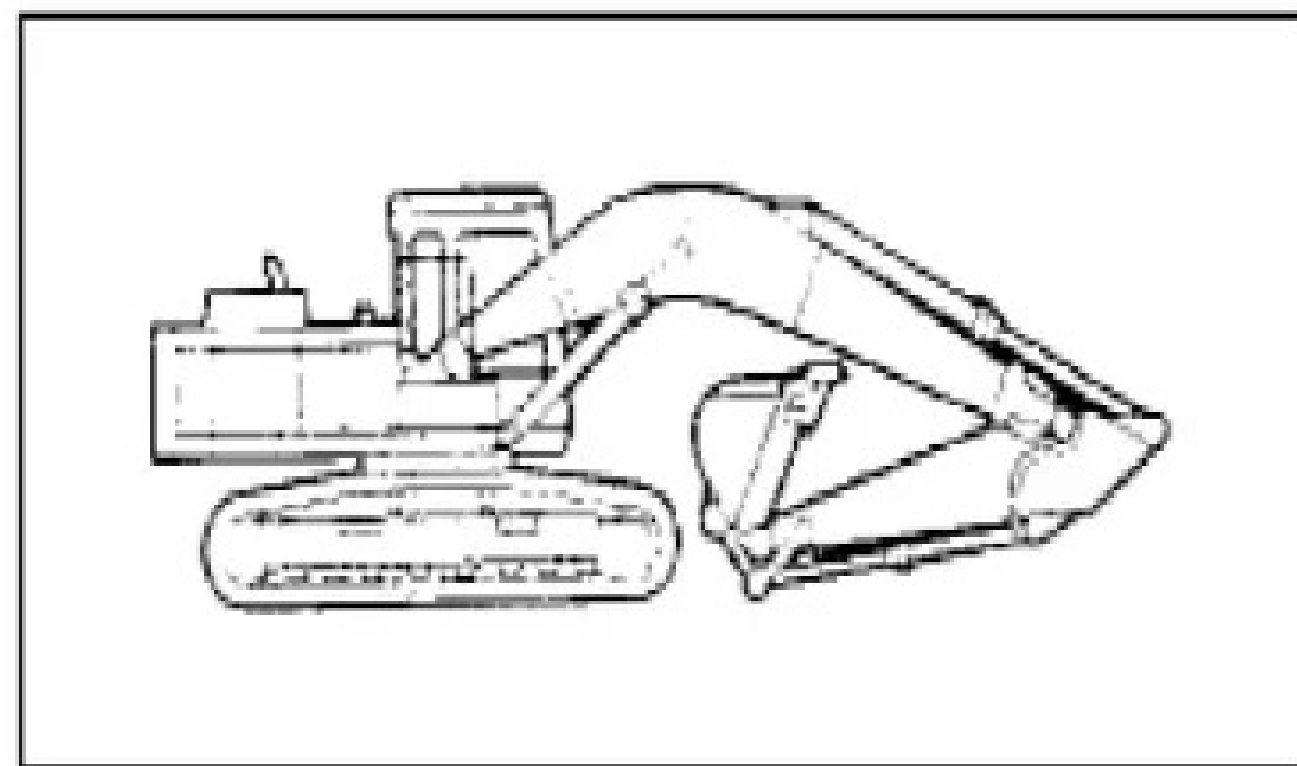
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

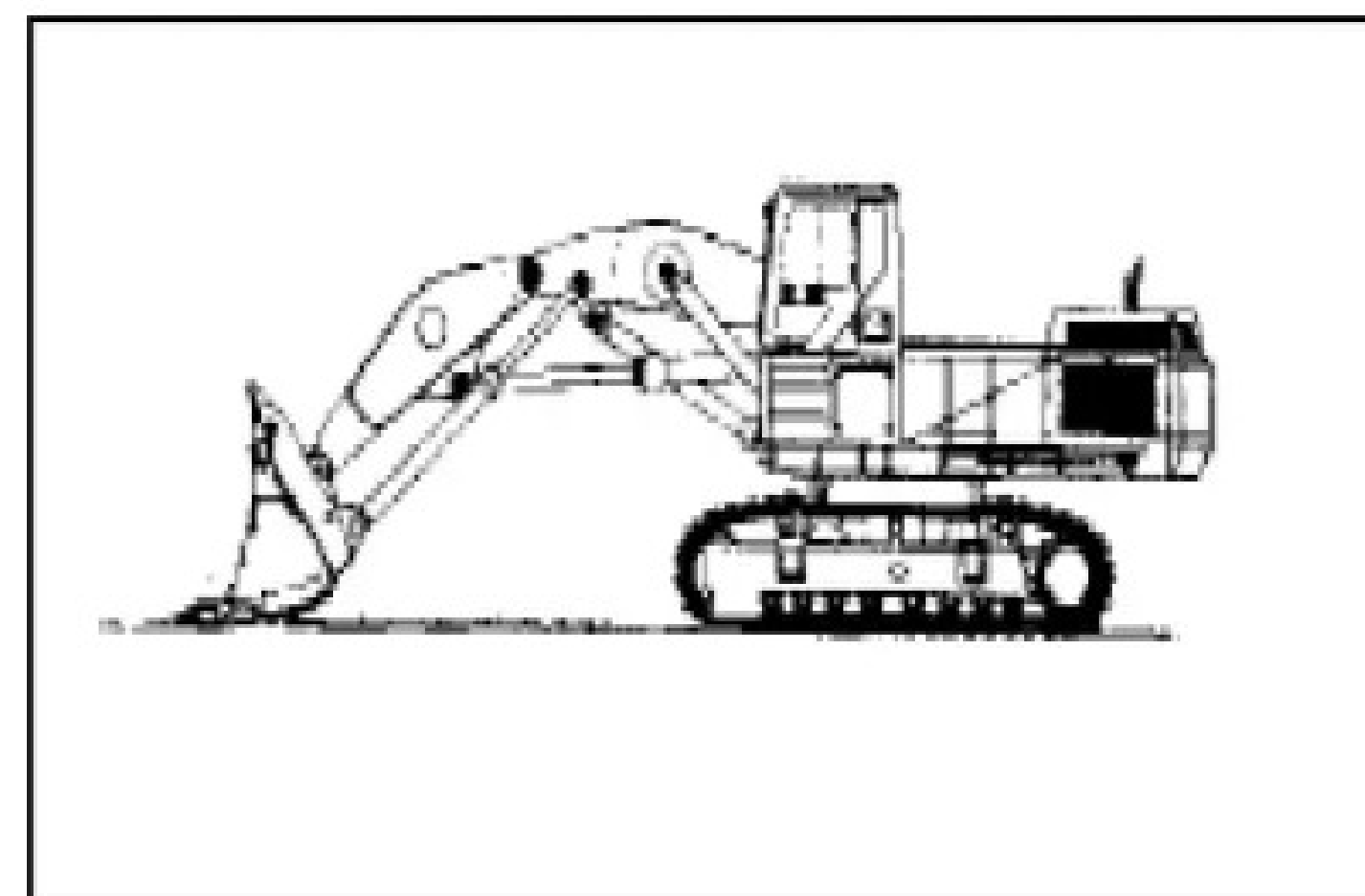
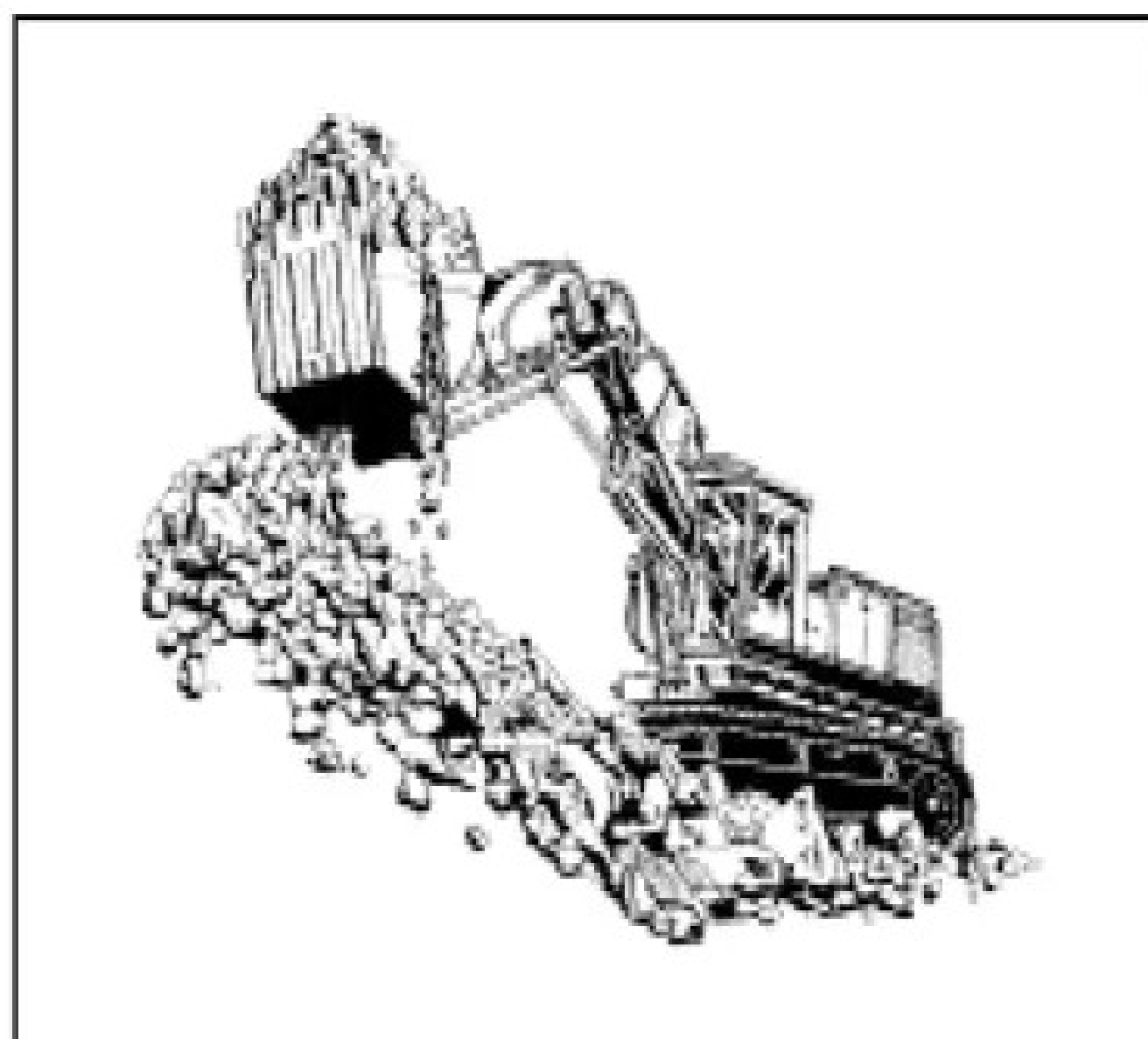
- Les engins d'excavation.

Ils permettent l'extraction des terres et leur chargement en vue du transport. Les principaux engins sont :

- Pelle hydraulique équipée en rétro.



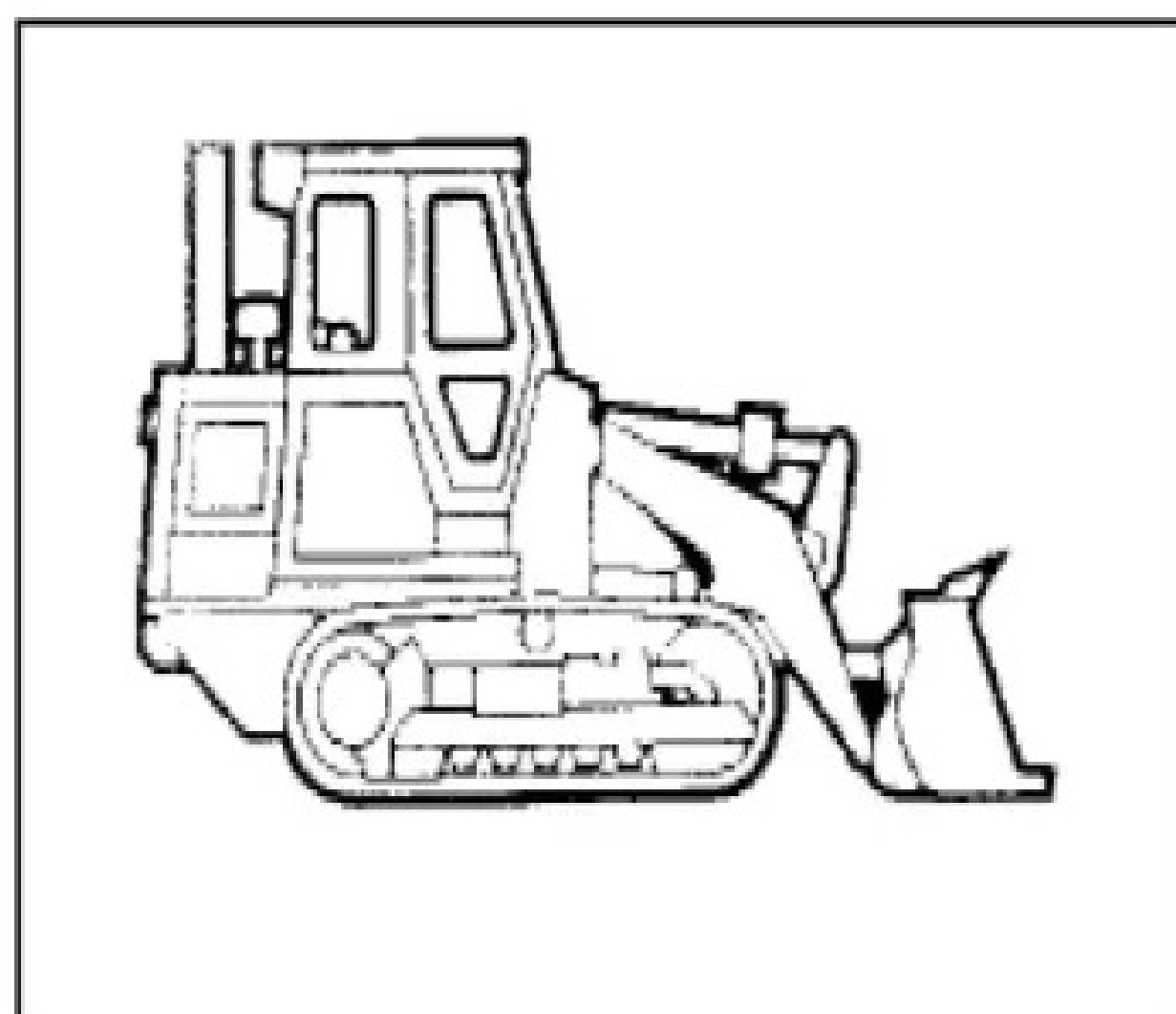
- Pelle hydraulique équipée en buttée.



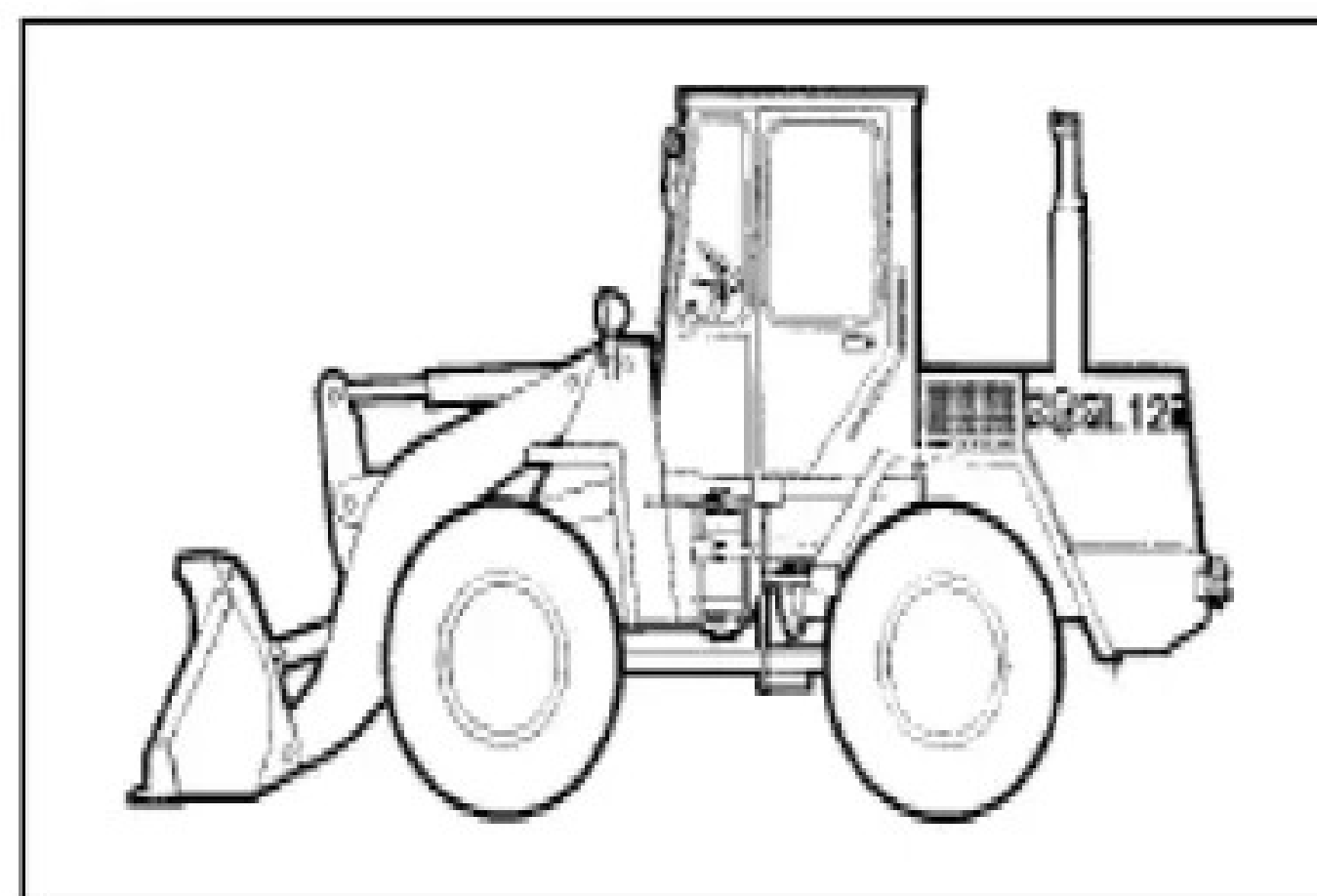
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Chargeur à chenilles.



- Chargeur à roues.



alamy - G3R2Y

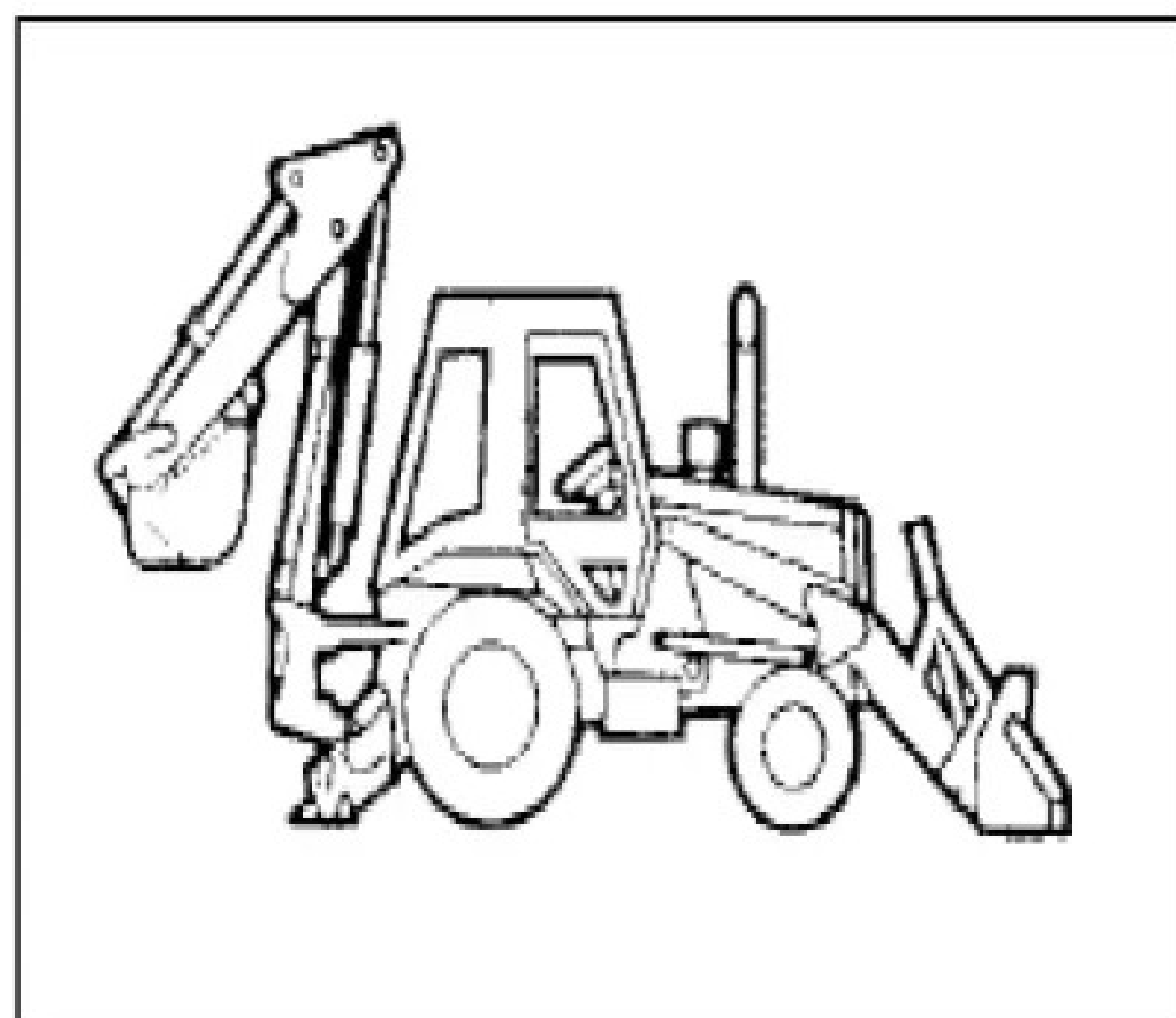




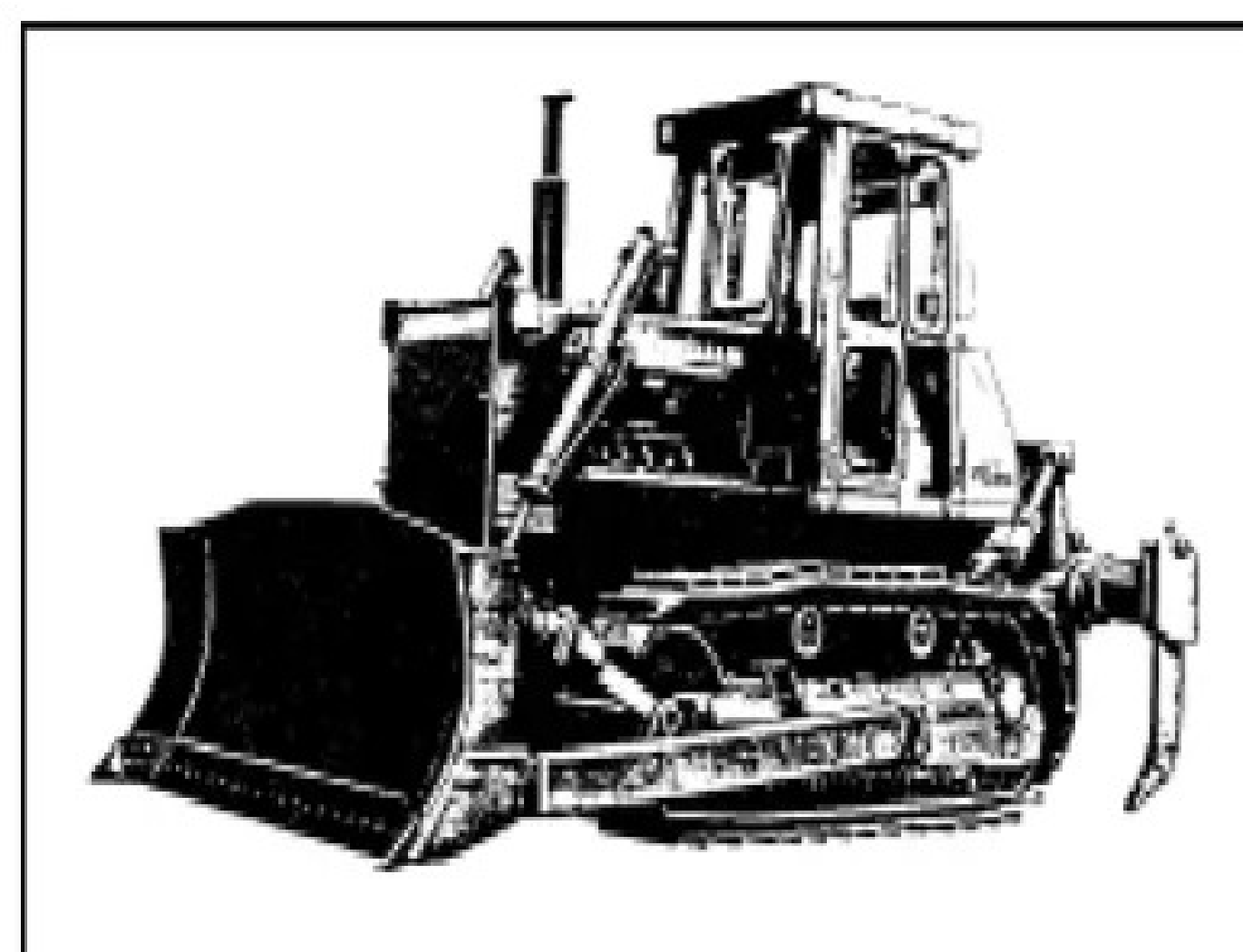
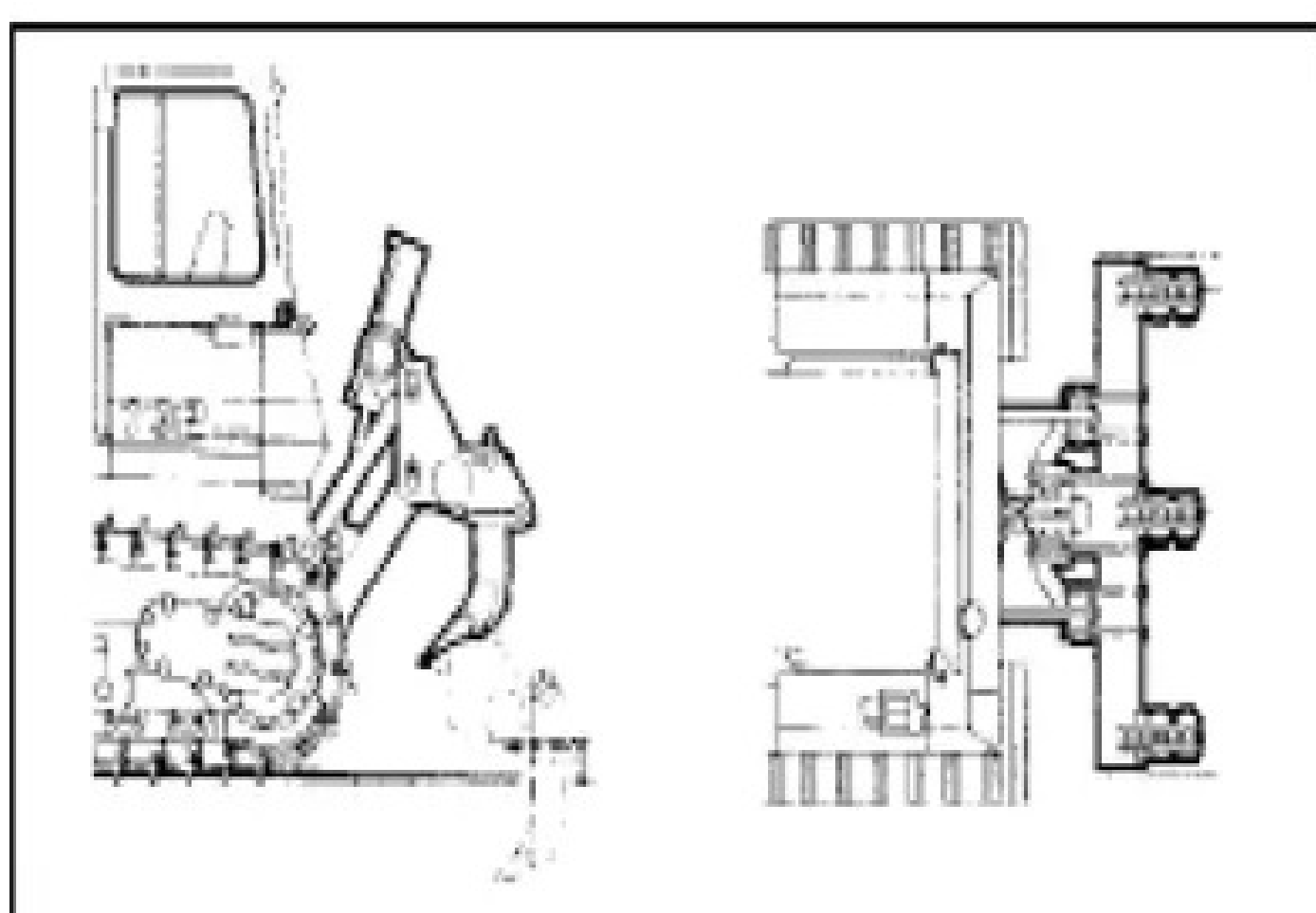
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Chargeuse pelleuse (tracto-pelle).



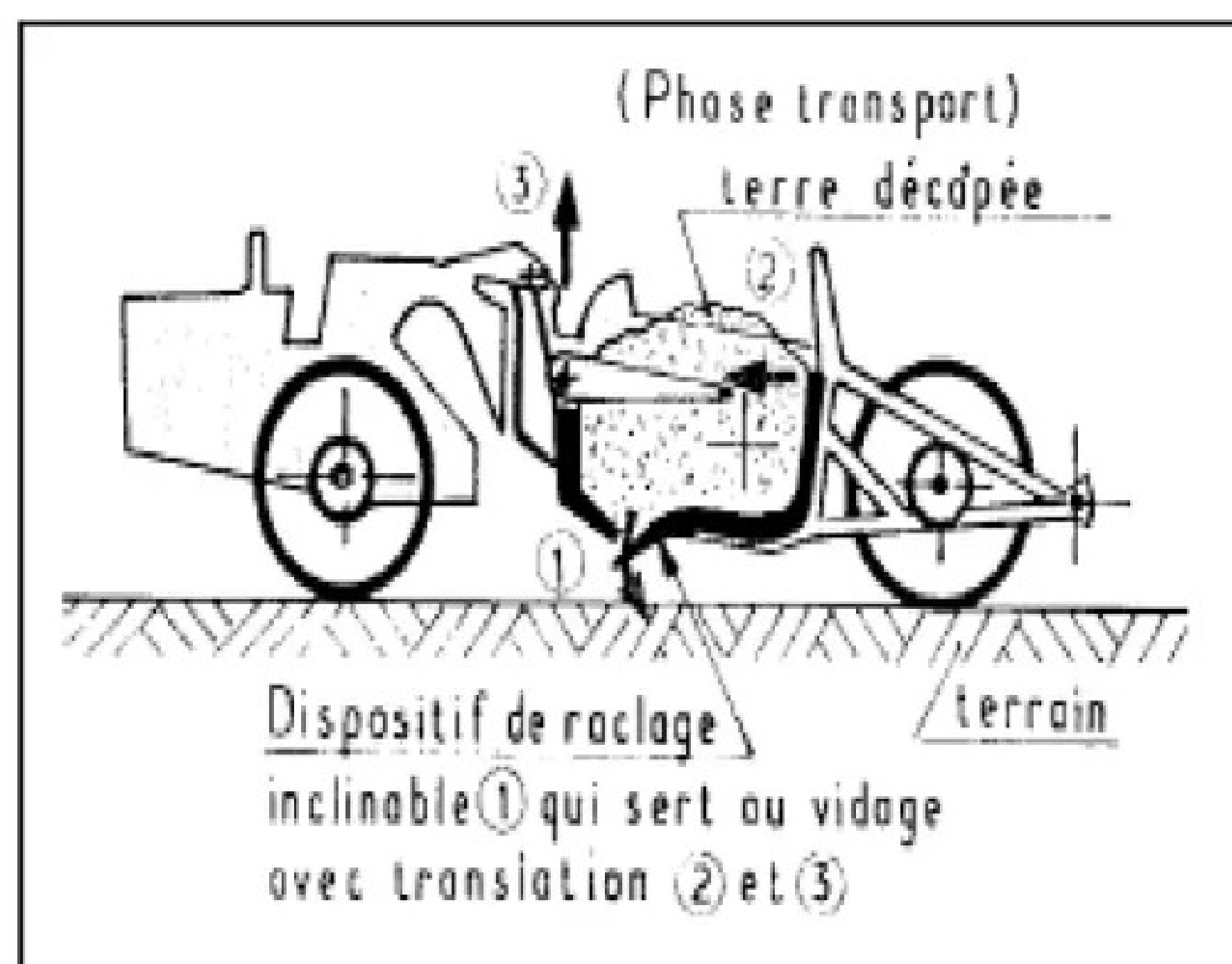
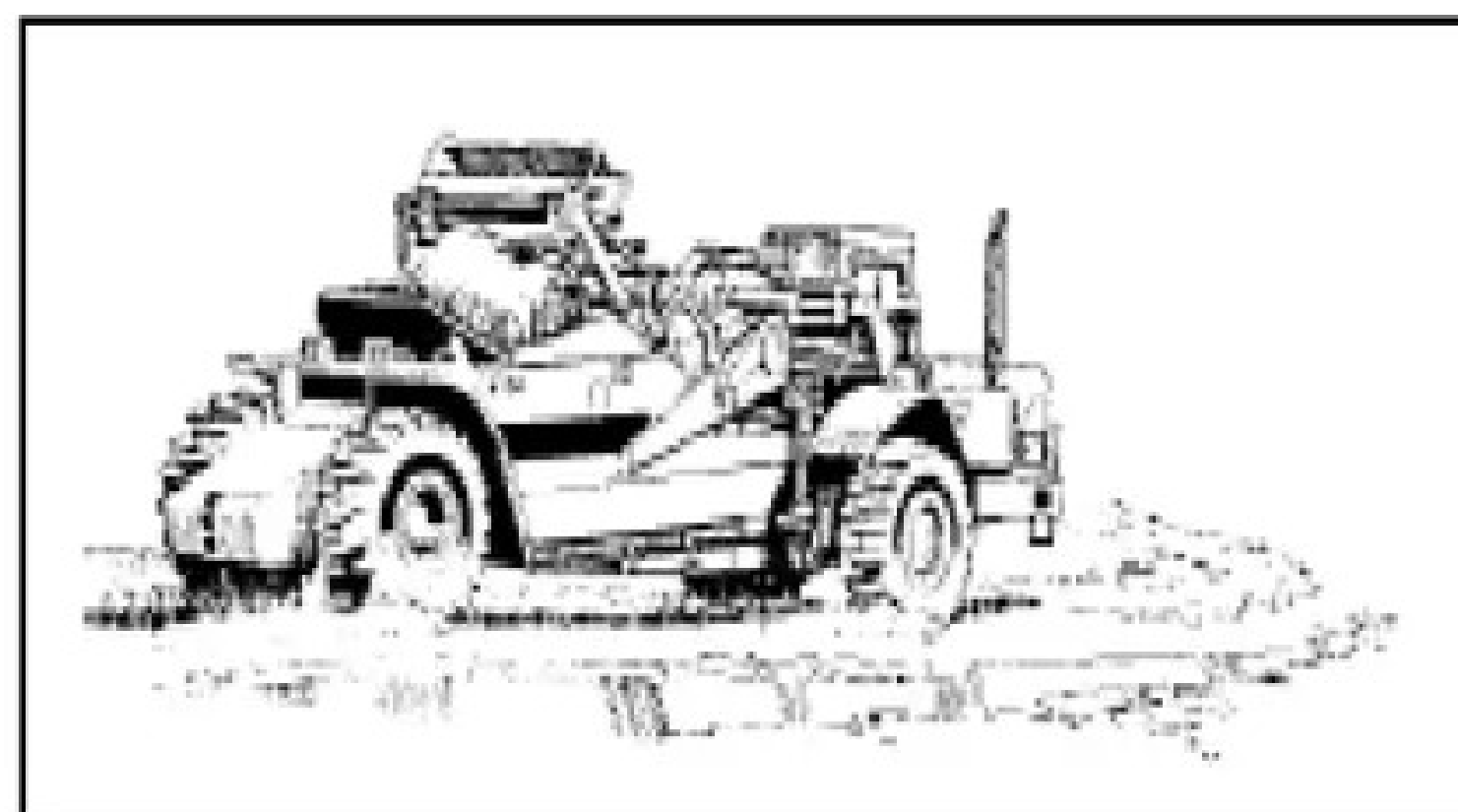
- Scarificateur.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Décapeuse.

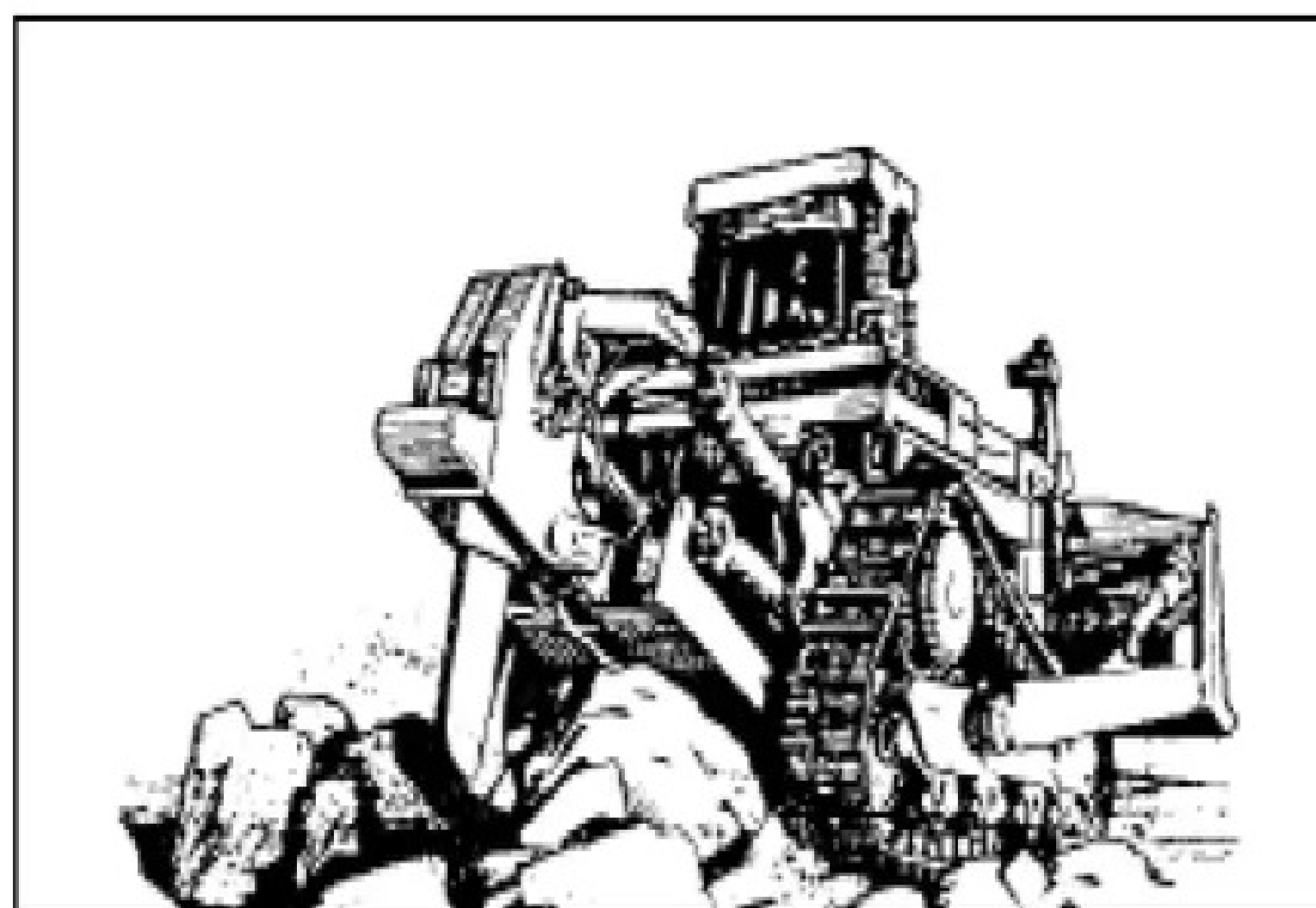
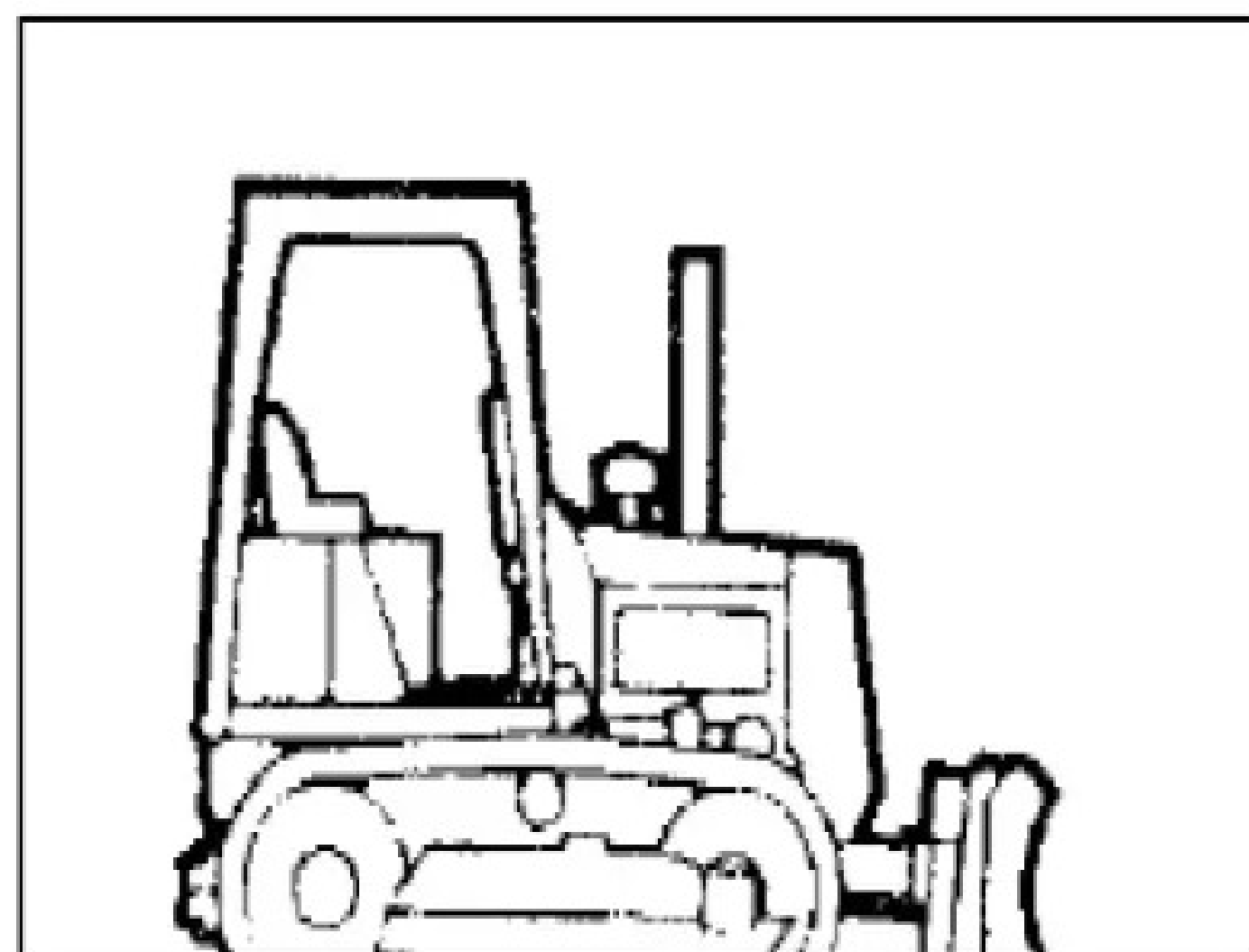




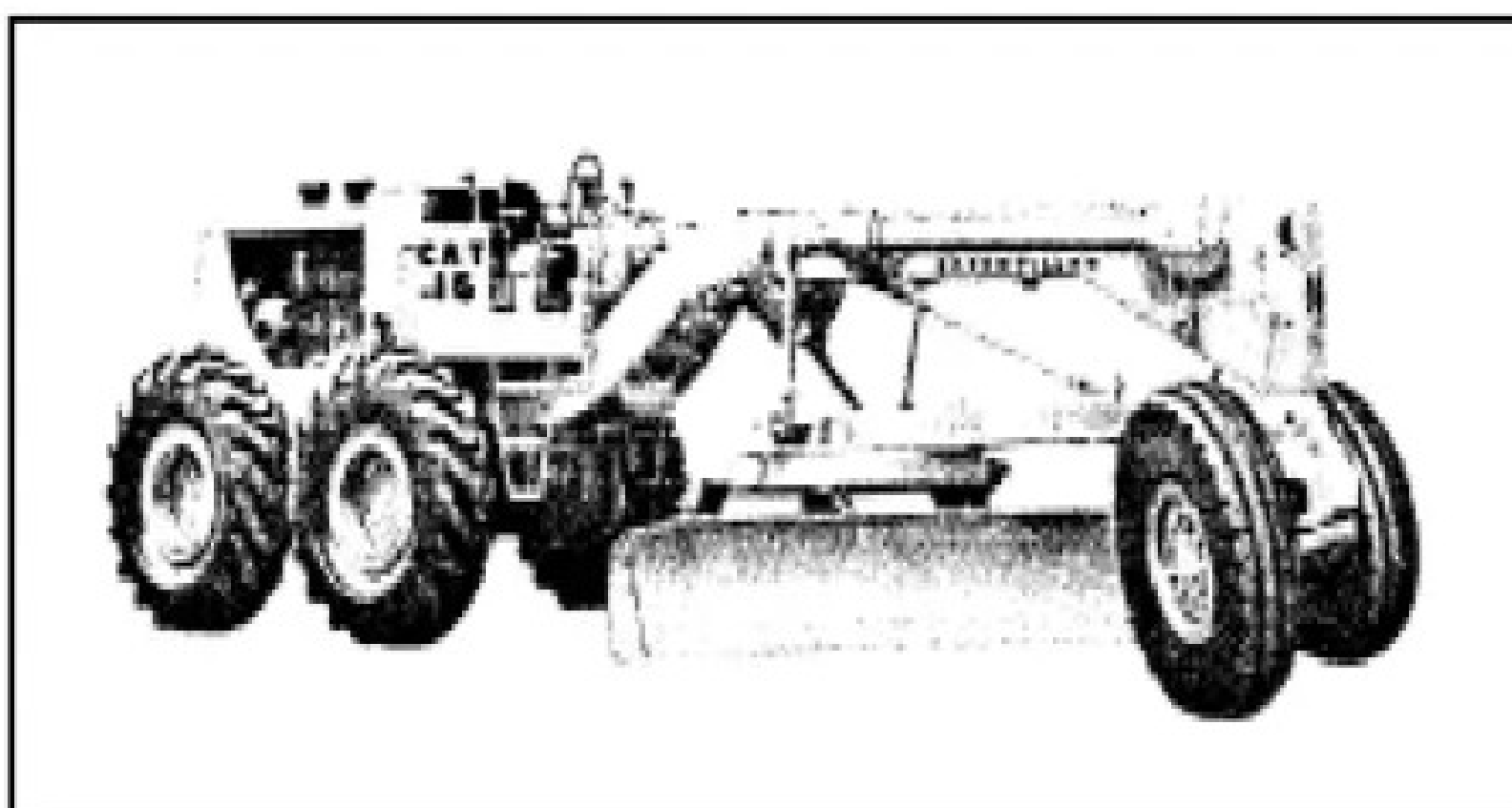
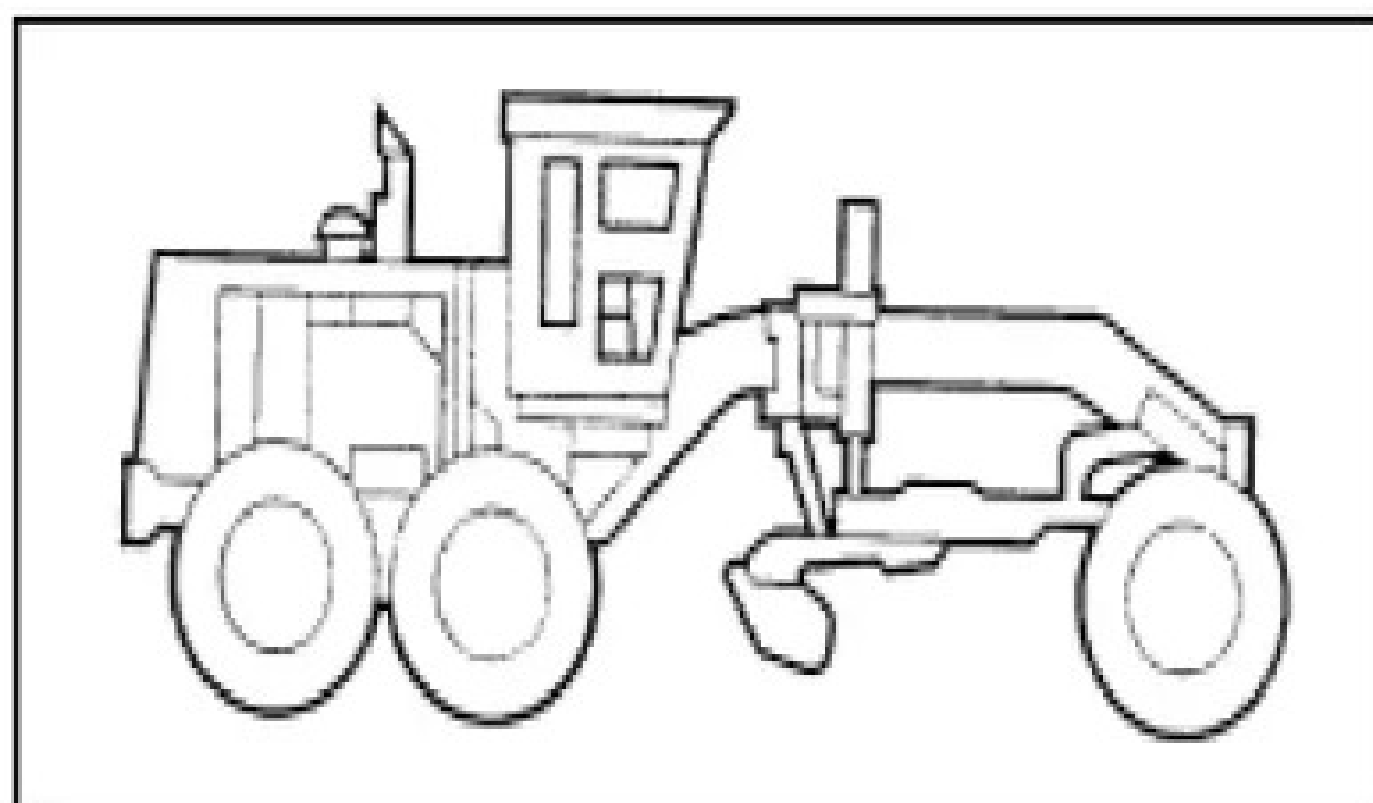
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Bouteur (bulldozer).équipé en ripper.



- Niveleuse



## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Les engins de transport.

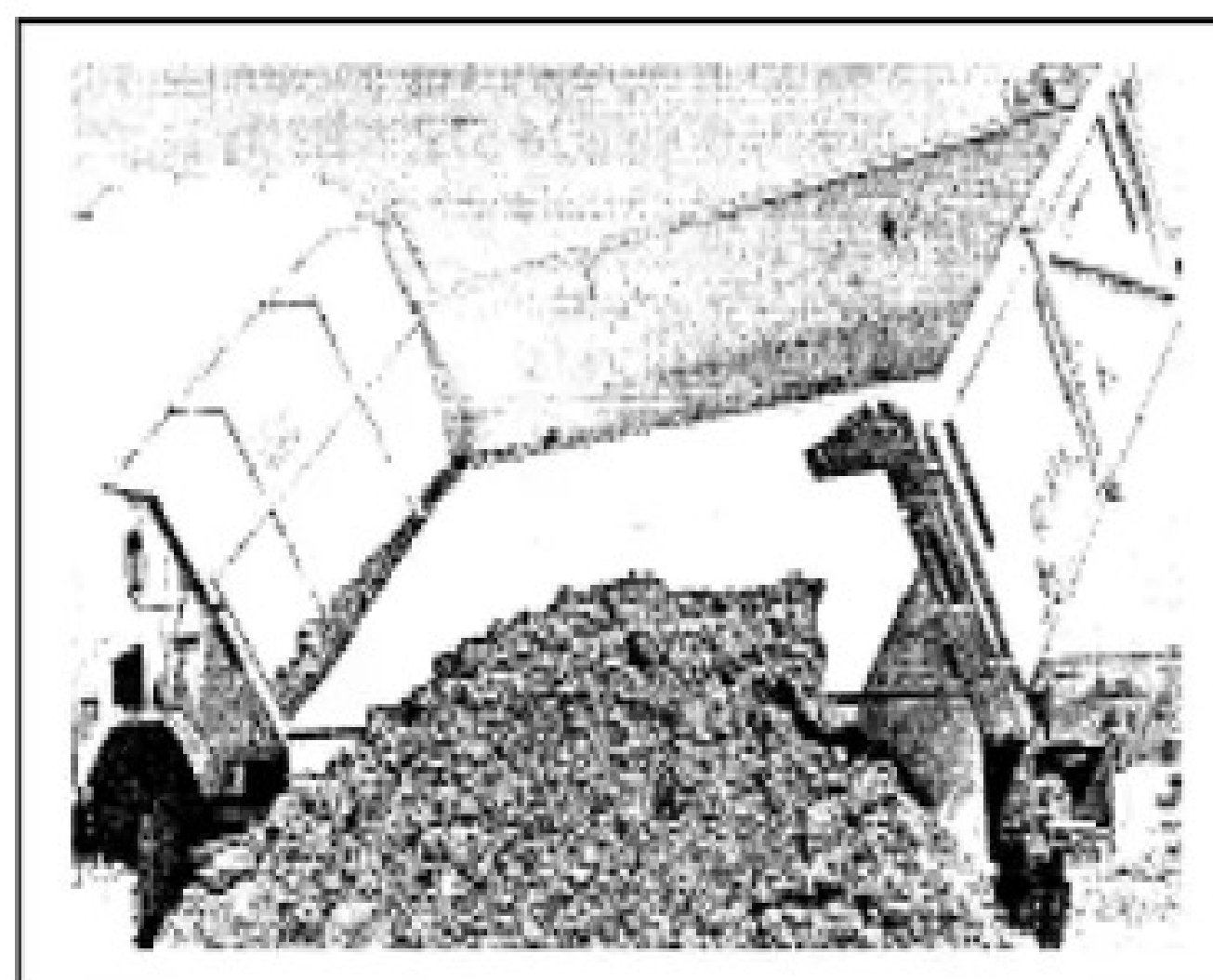
Ils assurent le transport des terres foisonnées du lieu d'excavation ou de reprise vers le site de dépôt. Les principaux engins sont :

- Camions au gabarit routier.

- Benne basculante.



- Tribenne



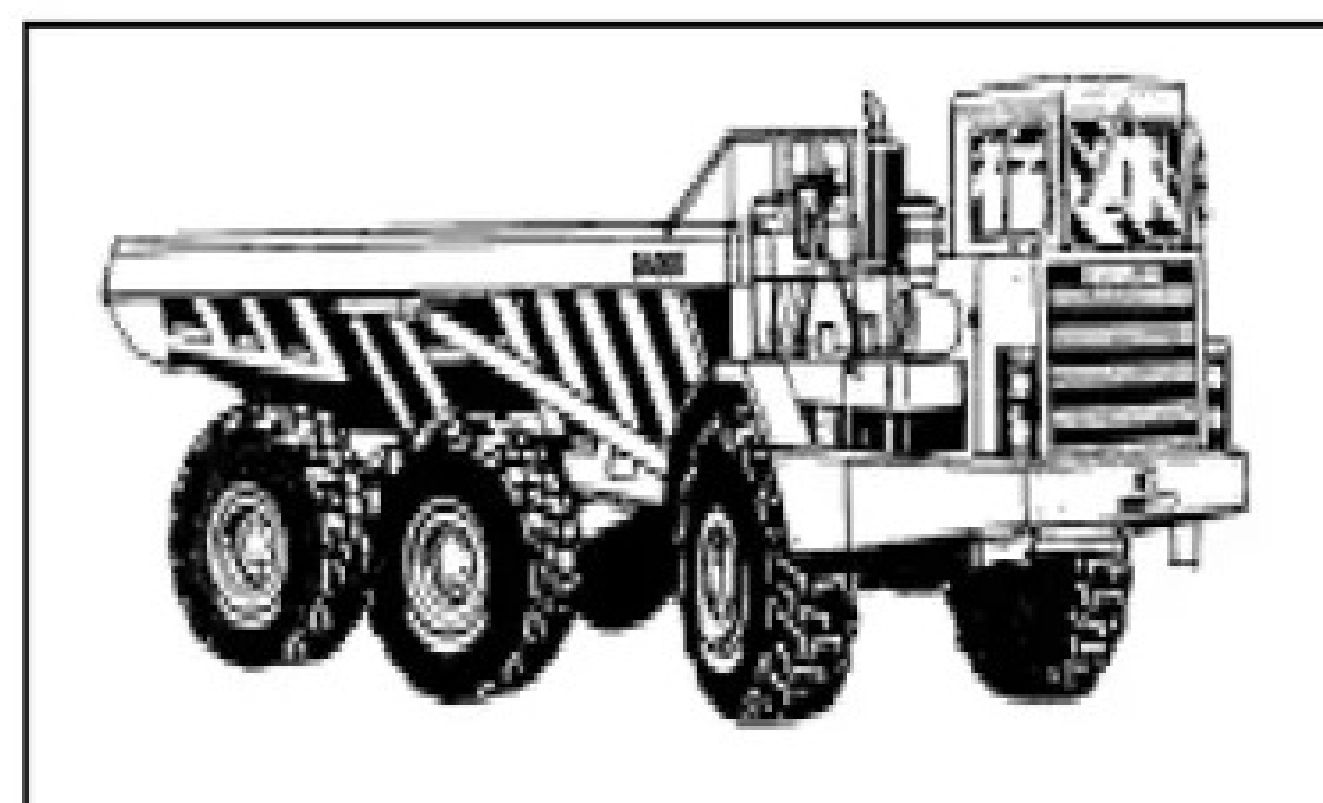
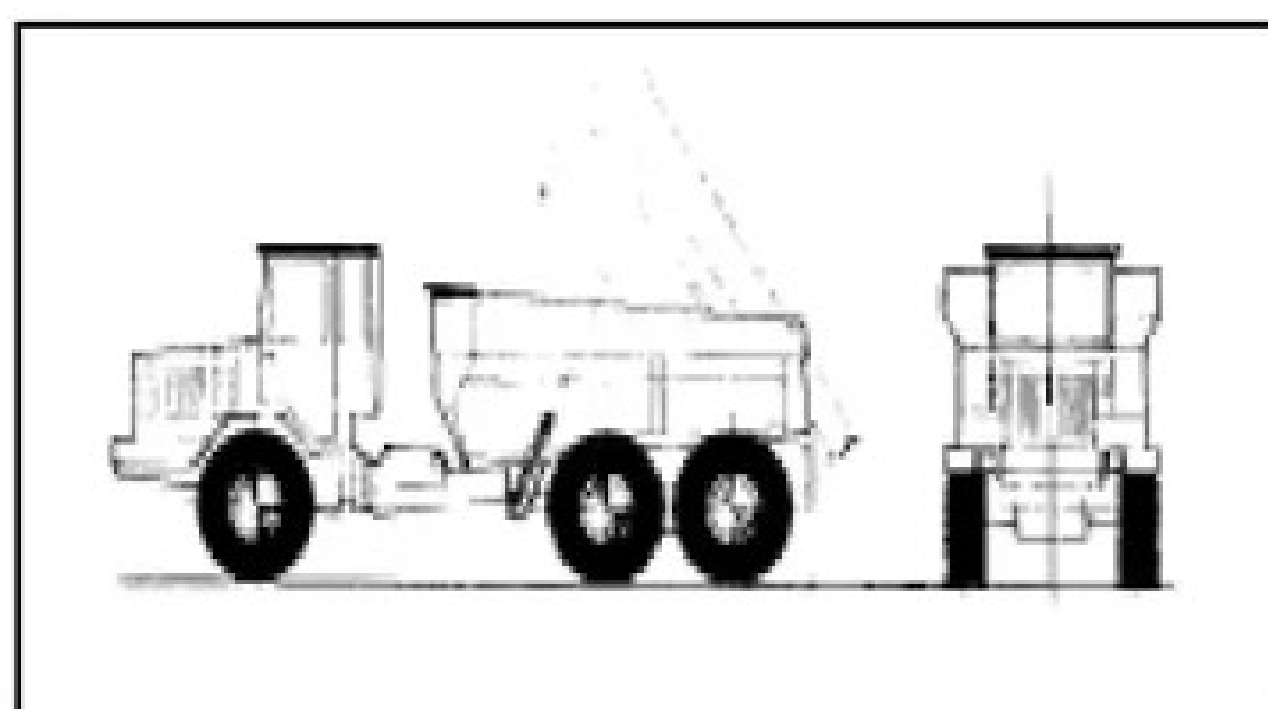


## S.I- TERRASSEMENTS

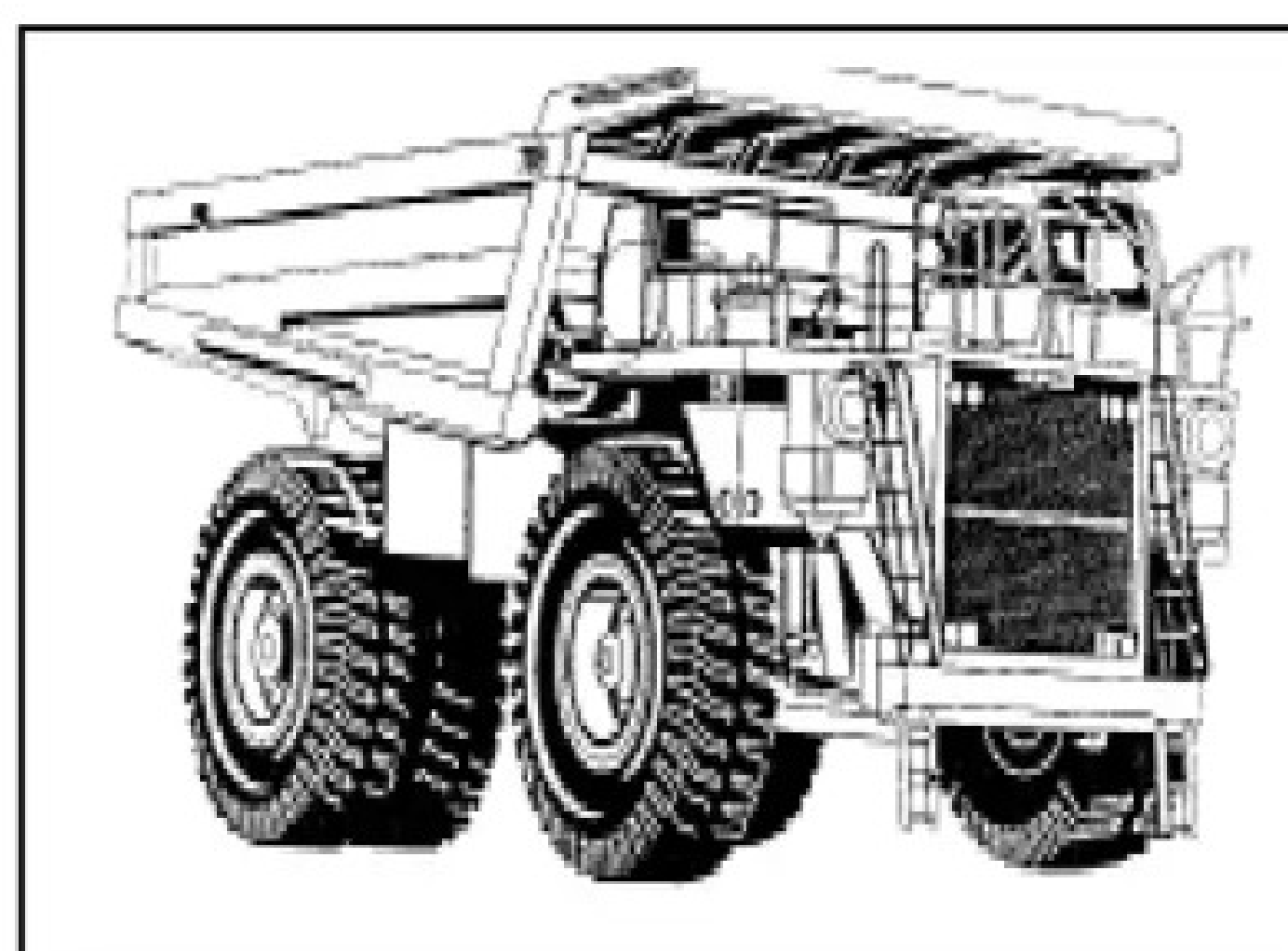
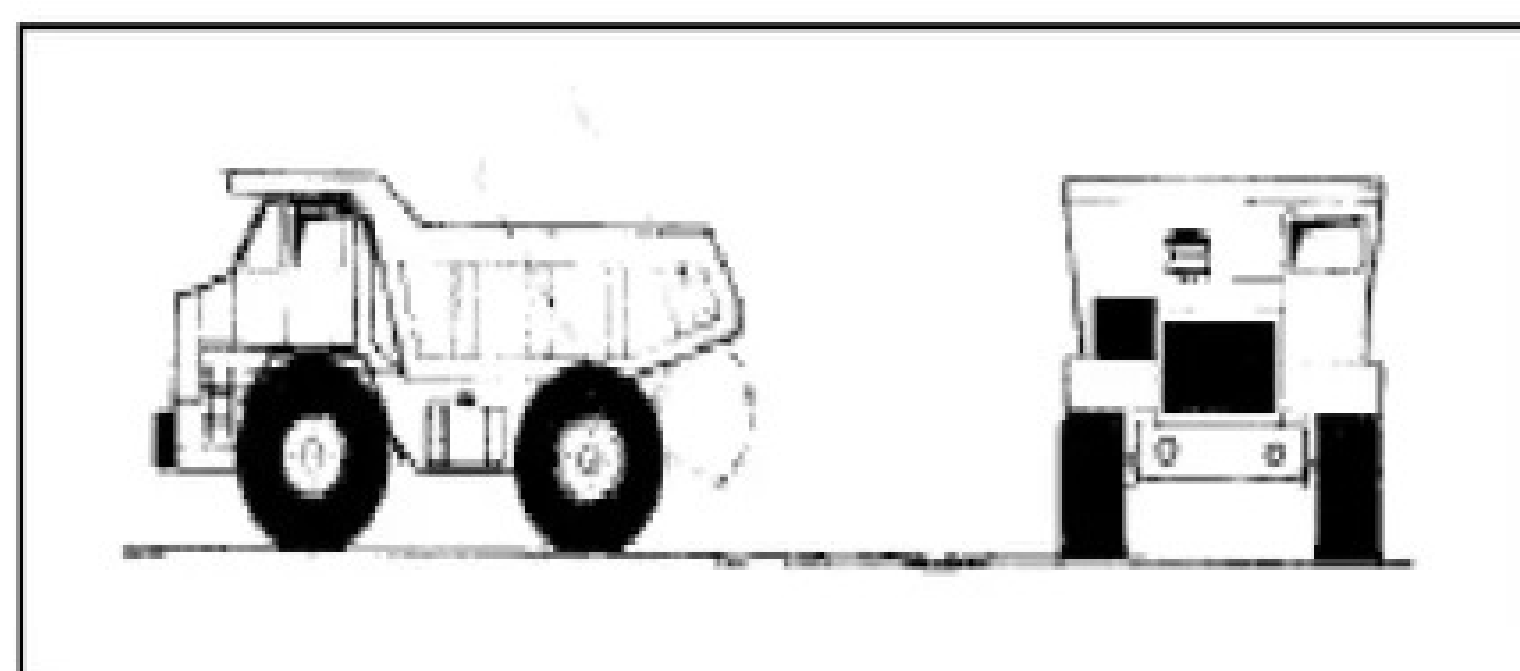
### Les engins de terrassement

- Tombereaux.

- Tombereau articulé



- Tombereau rigide



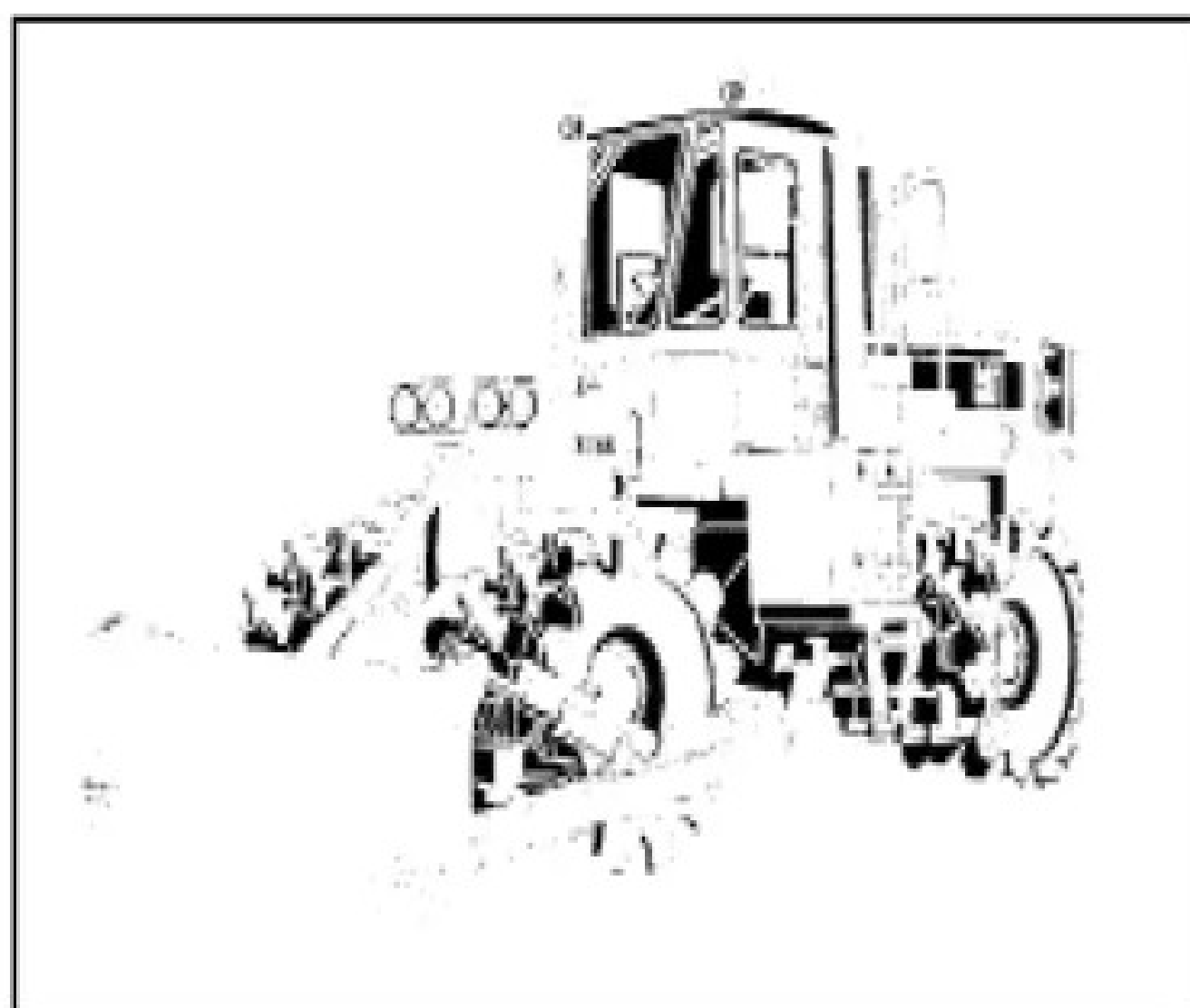
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Les engins de compactage.

Ils permettent le compactage des terres pour permettre la reconstitution du sol. Les principaux engins sont :

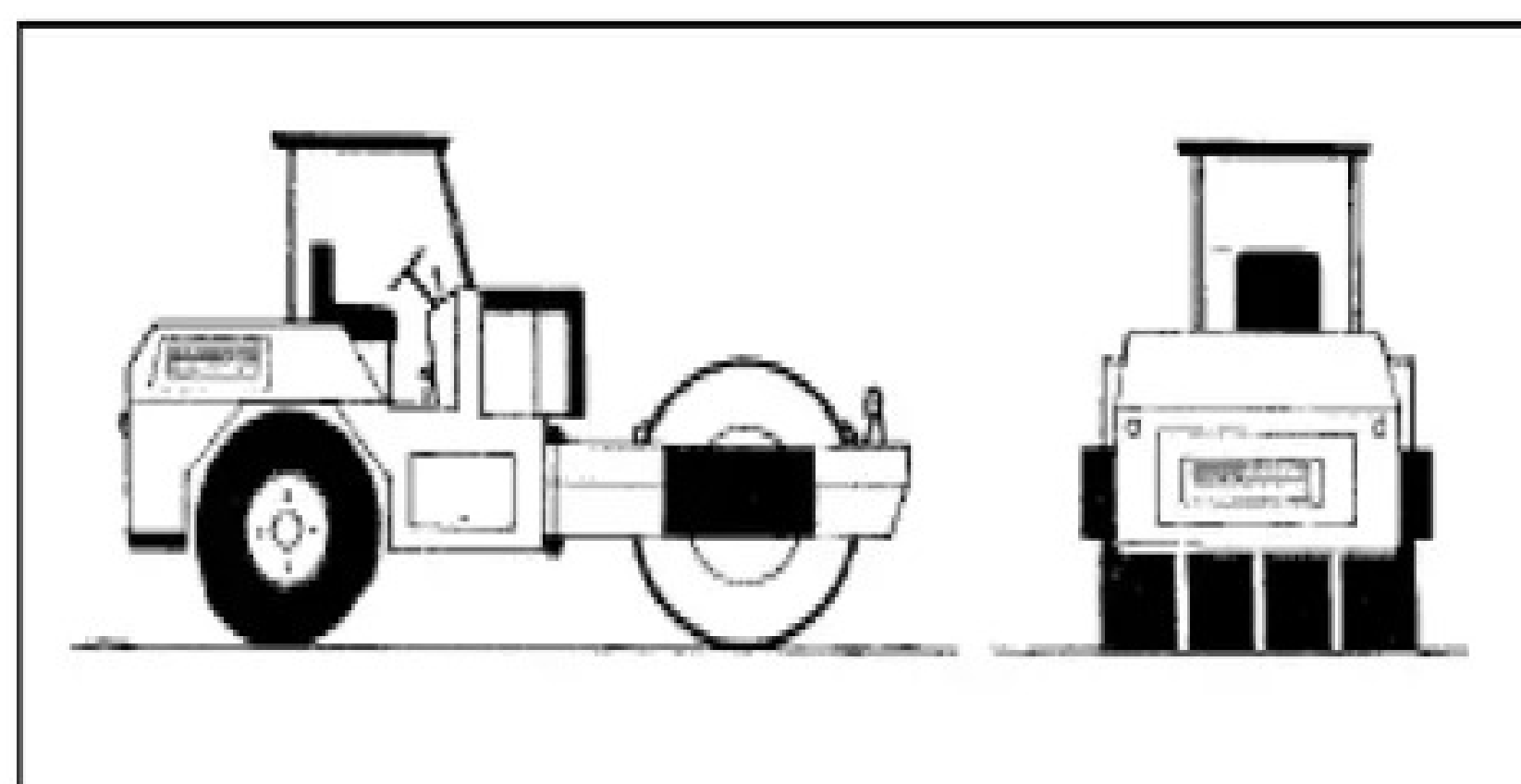
- Compacteur à pieds dameurs vibreur.



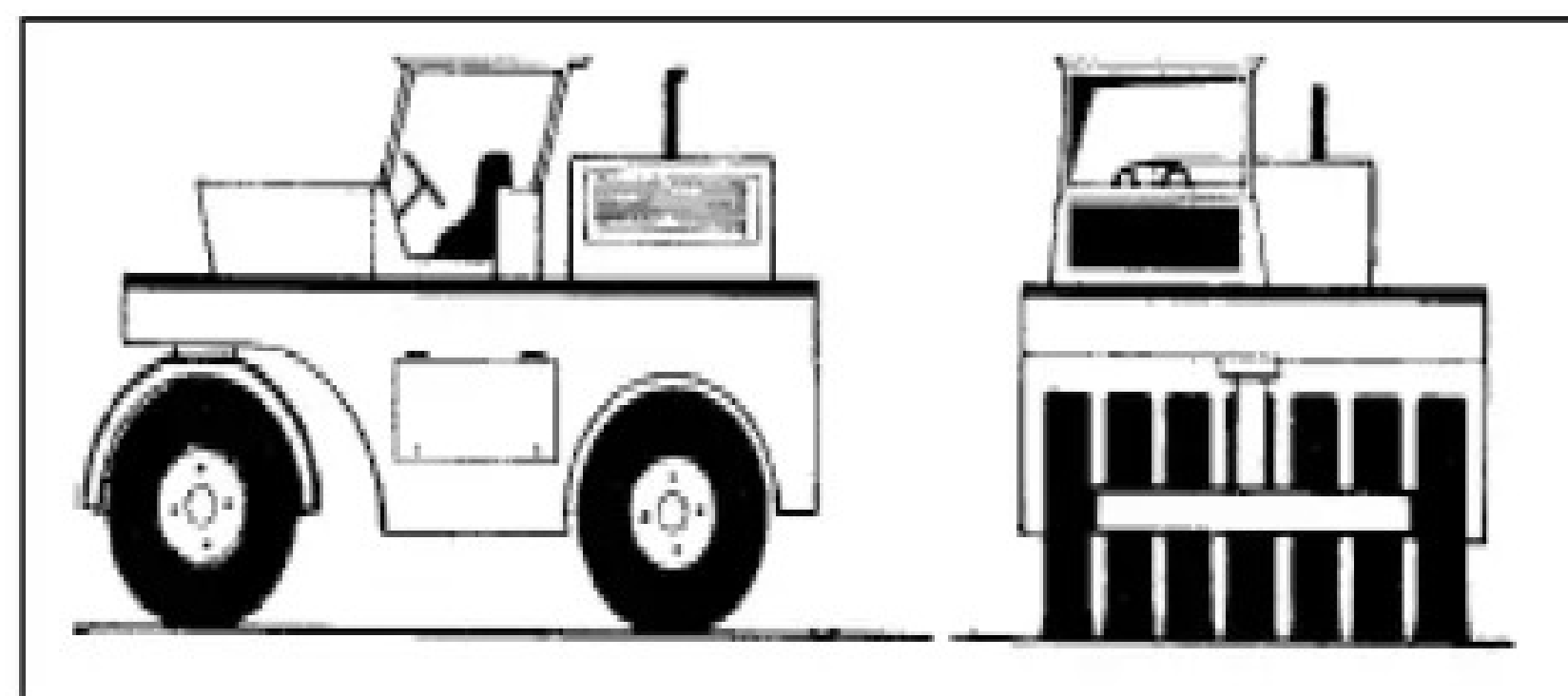
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Compacteur mono-cylindre.



- Compacteur à pneus.

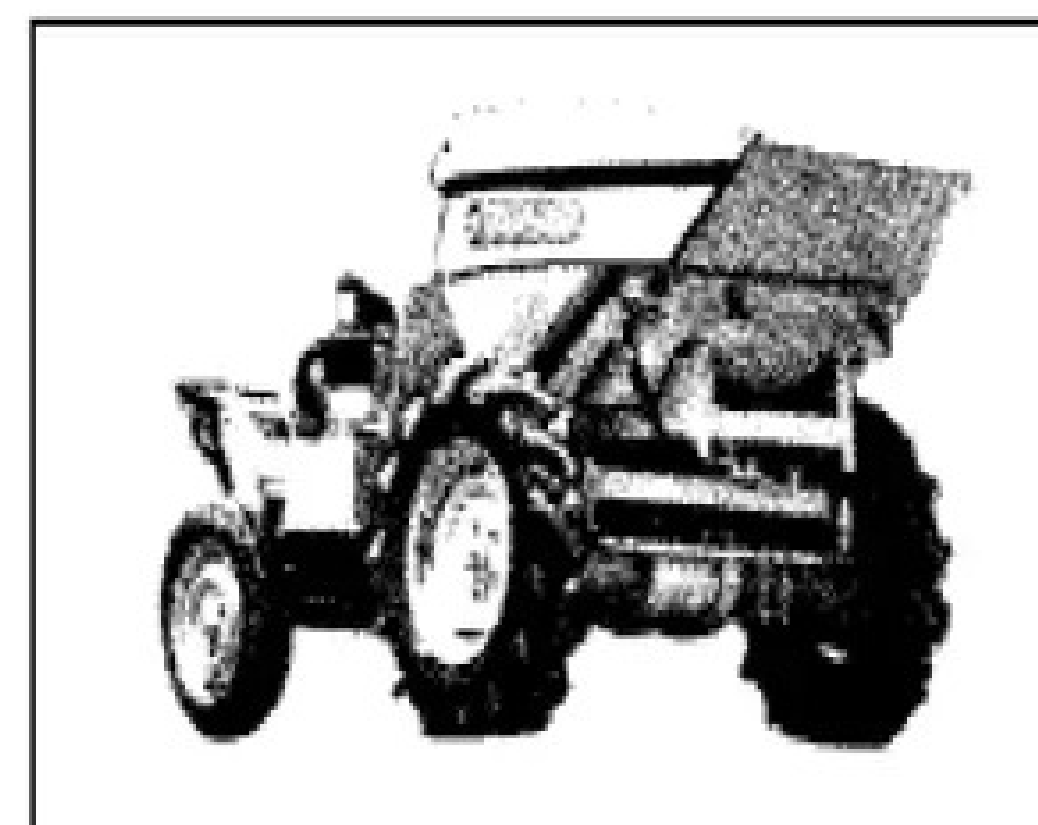
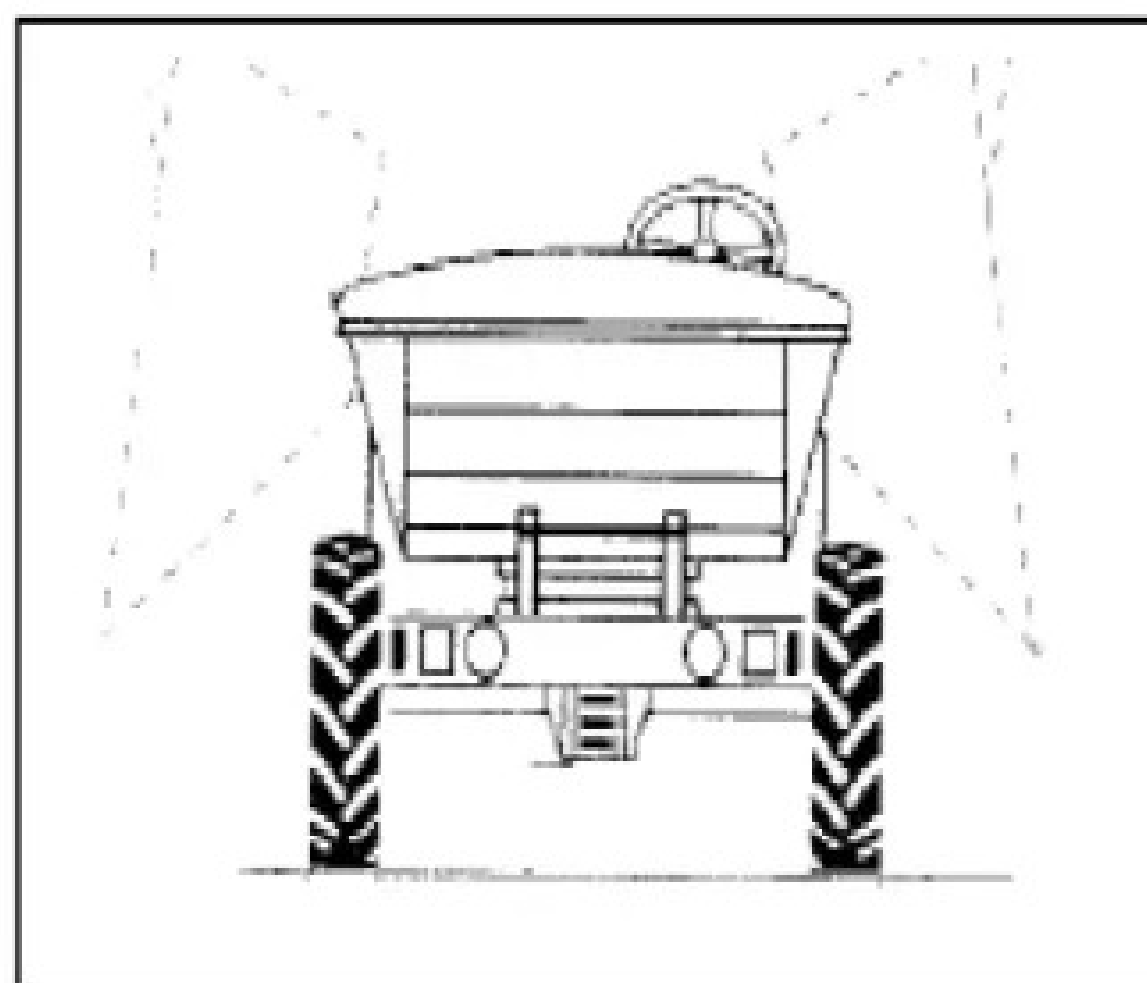
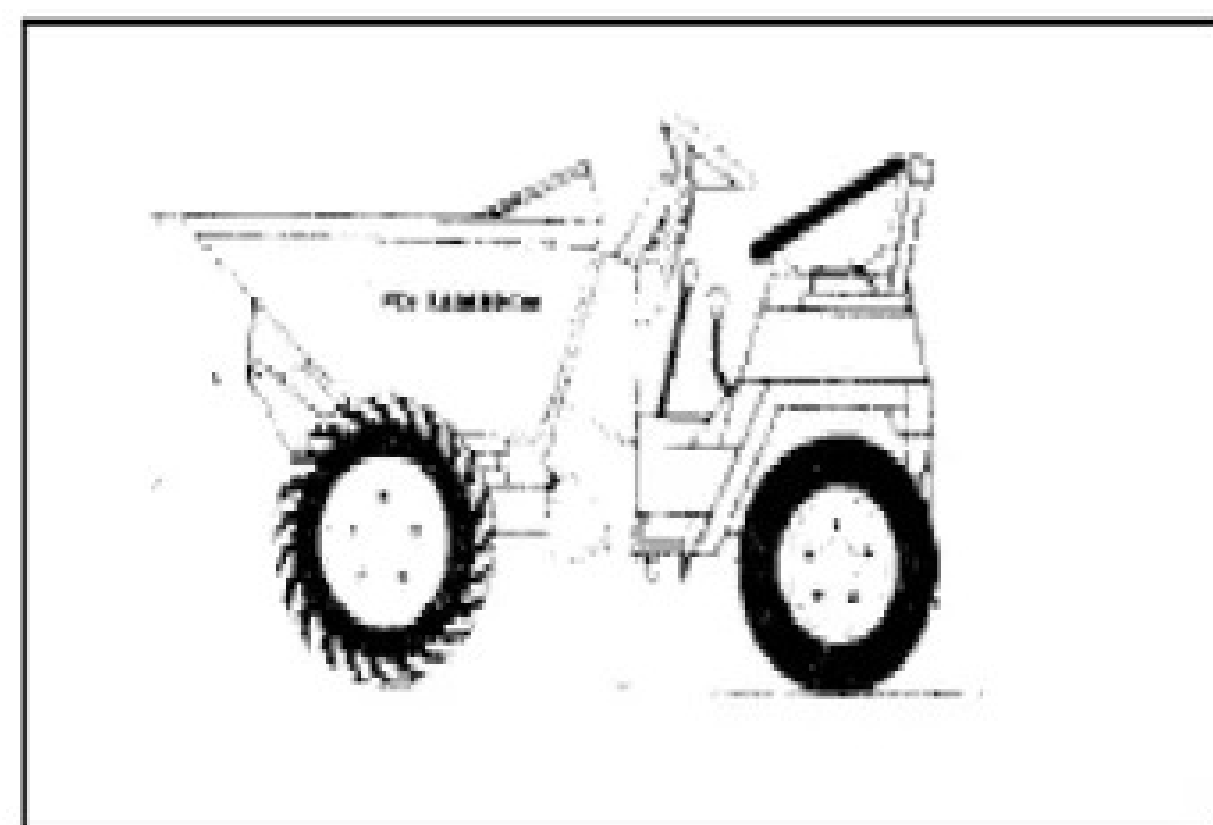




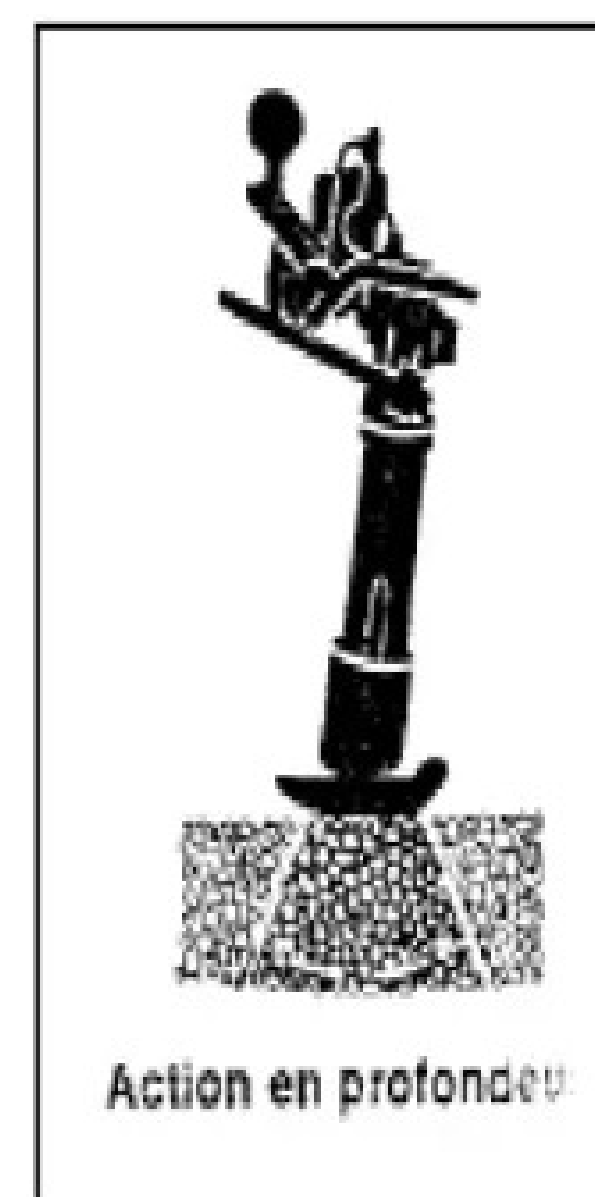
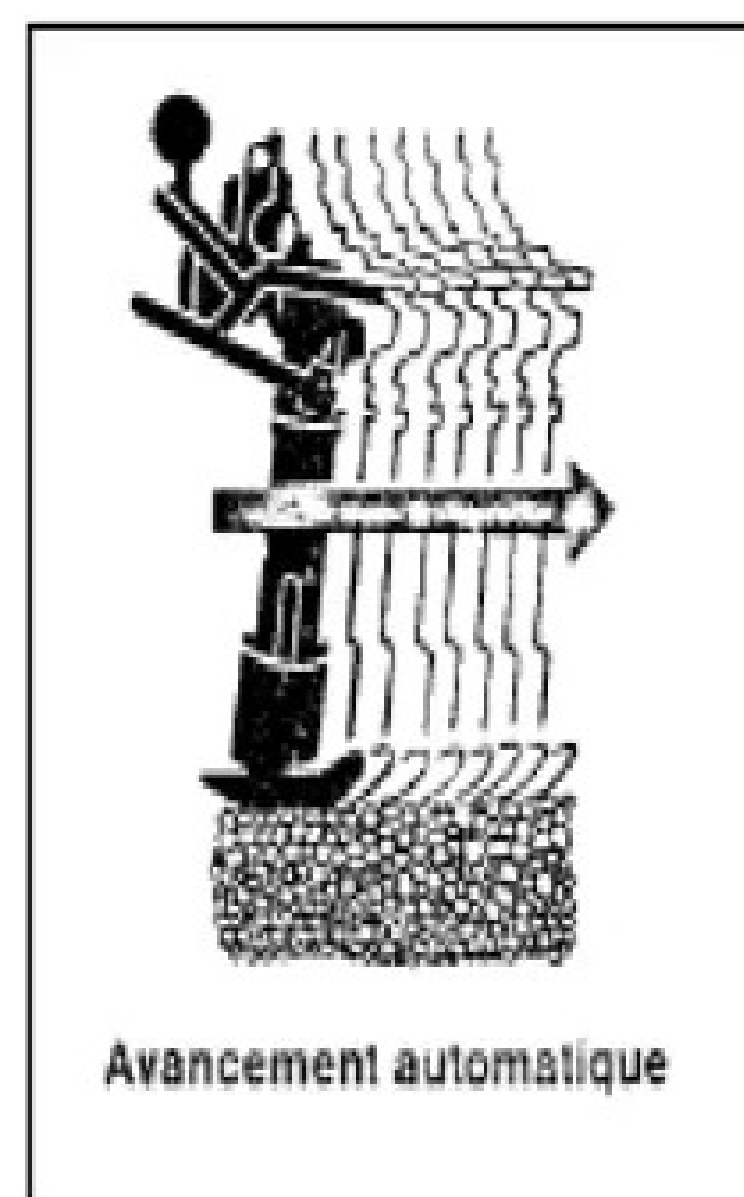
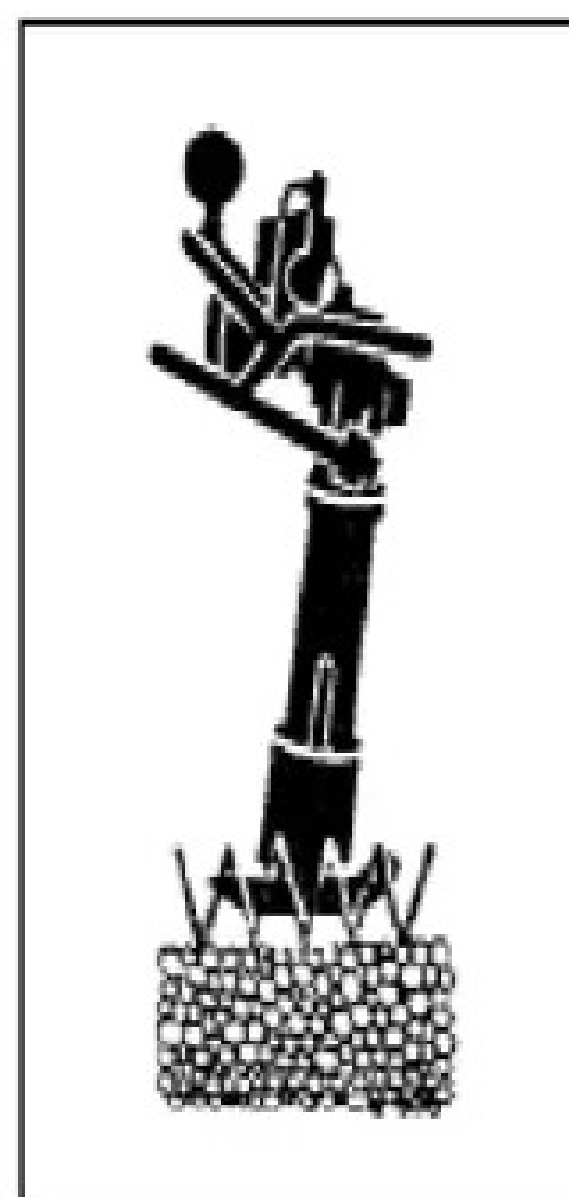
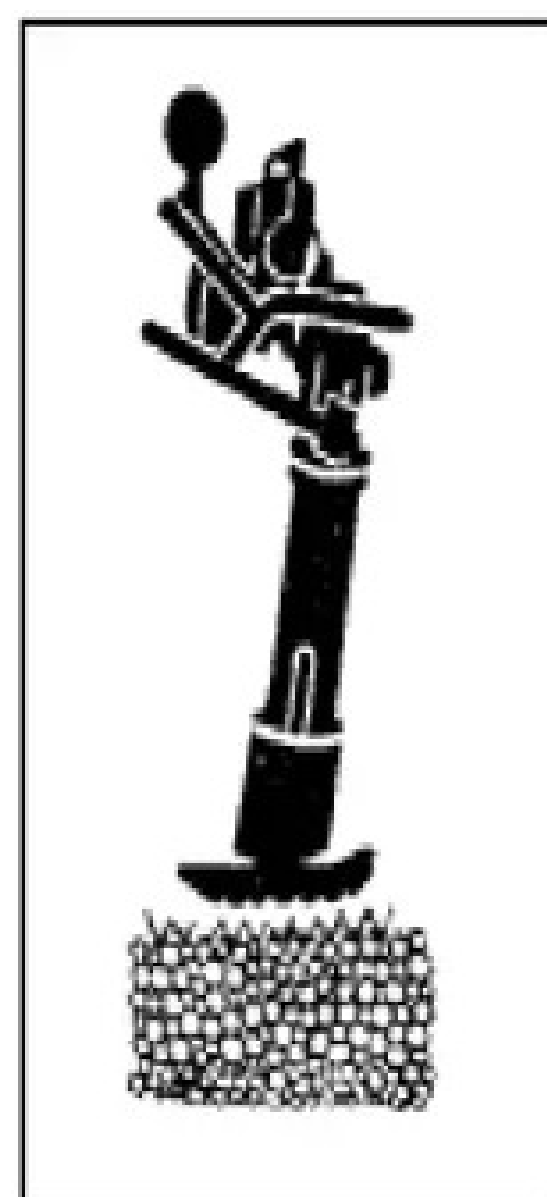
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Les mini-engins.
- Moto-basculeur.



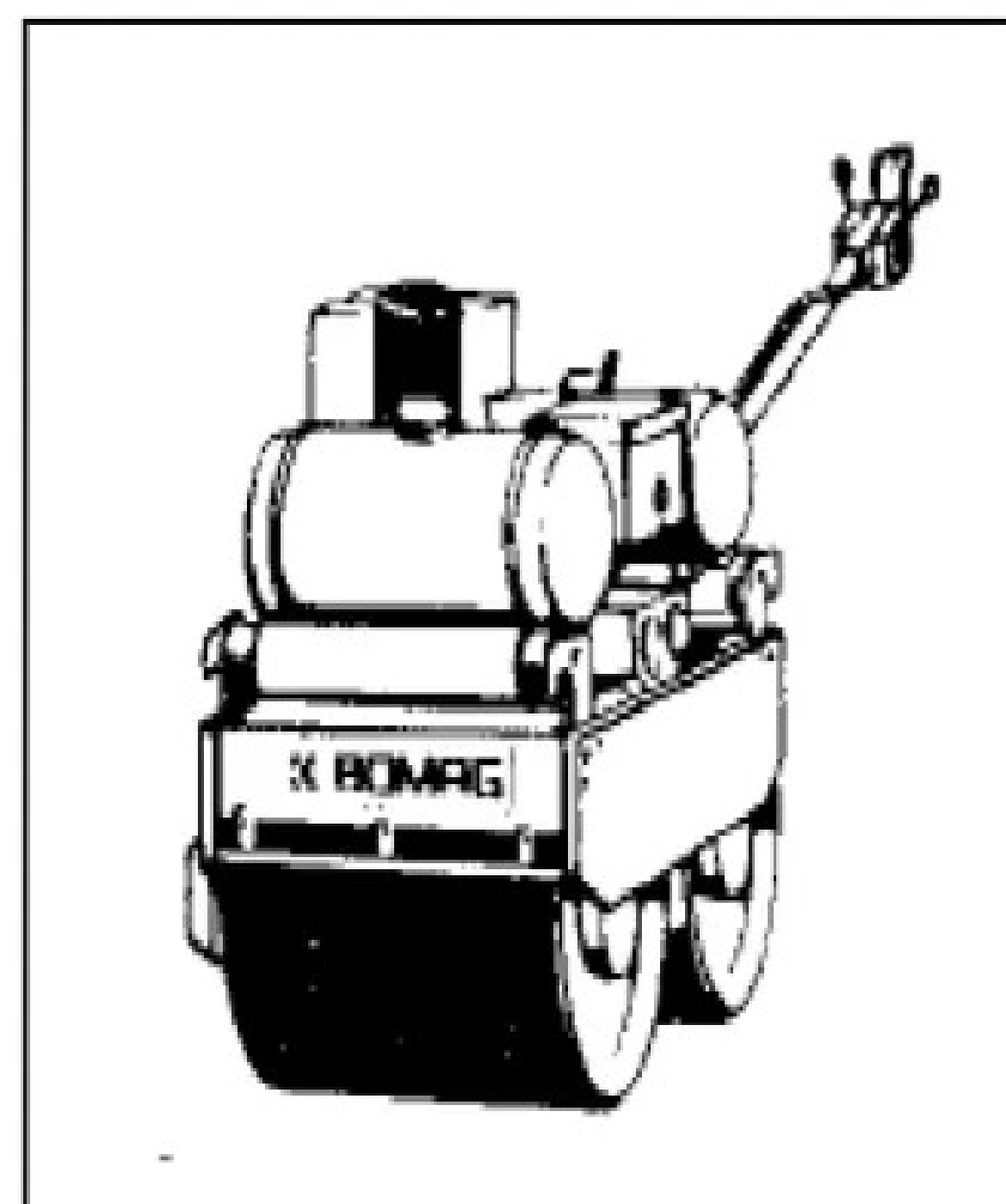
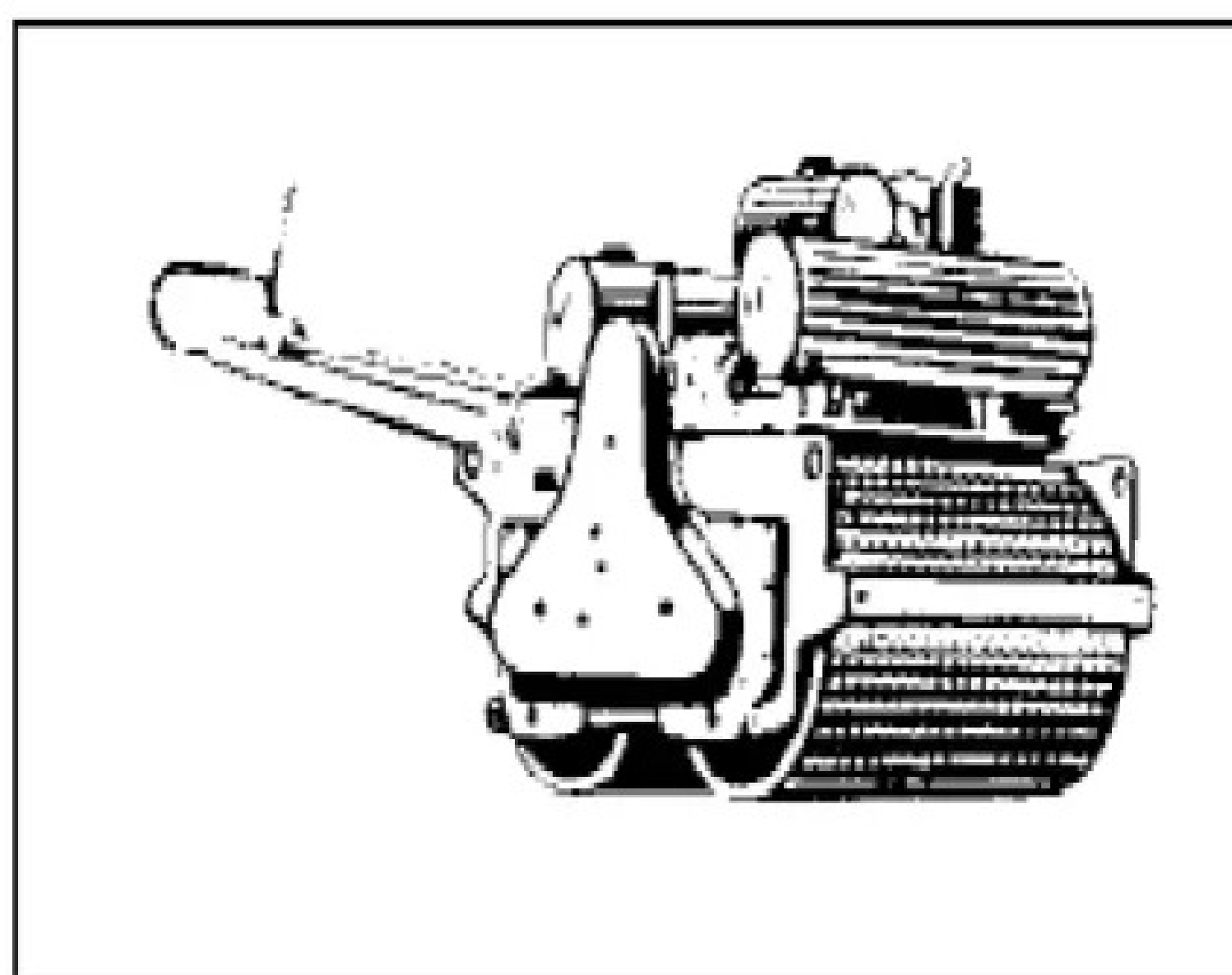
- Pilonneuse vibrante.



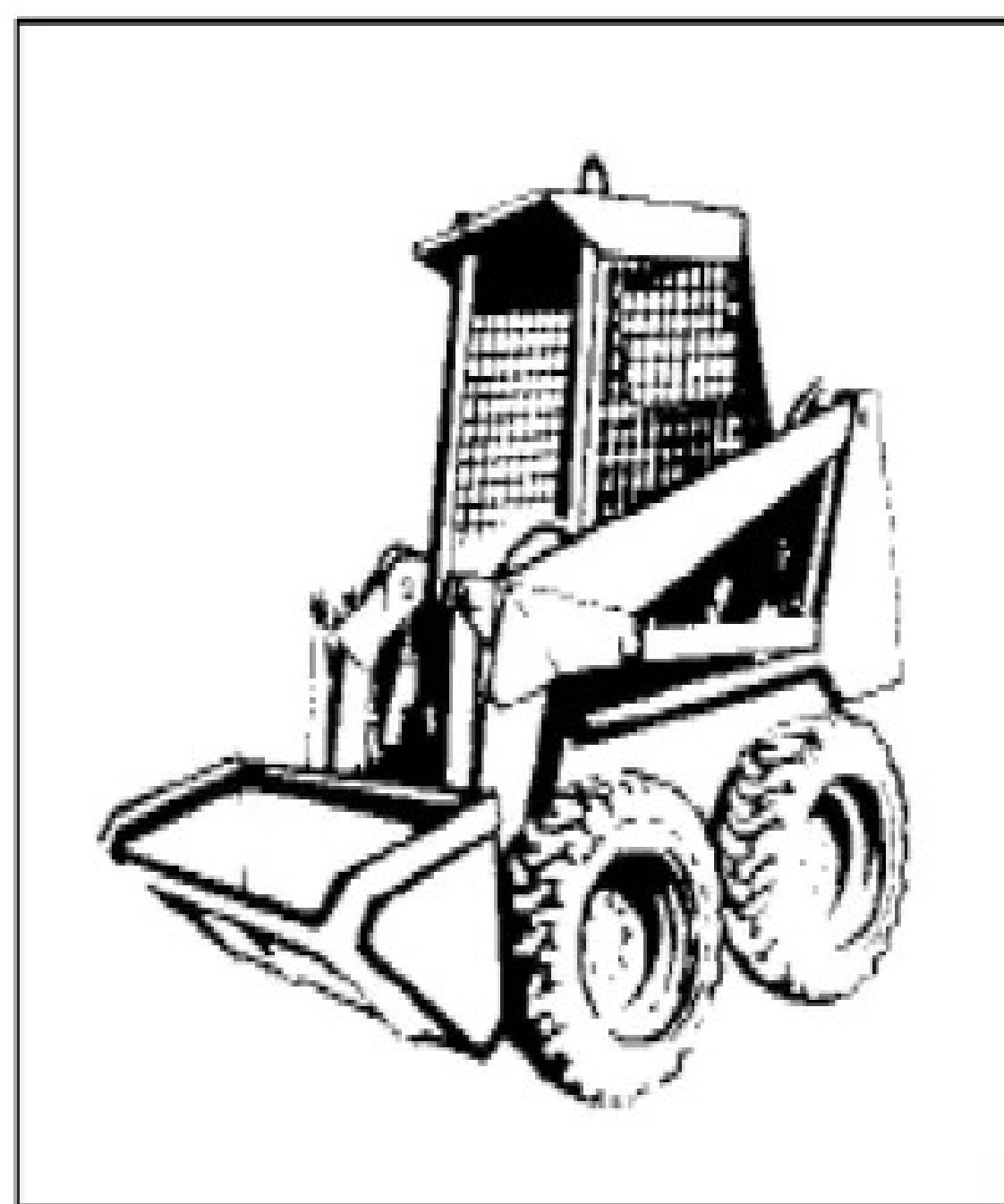
## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Rouleau vibrant manuel.



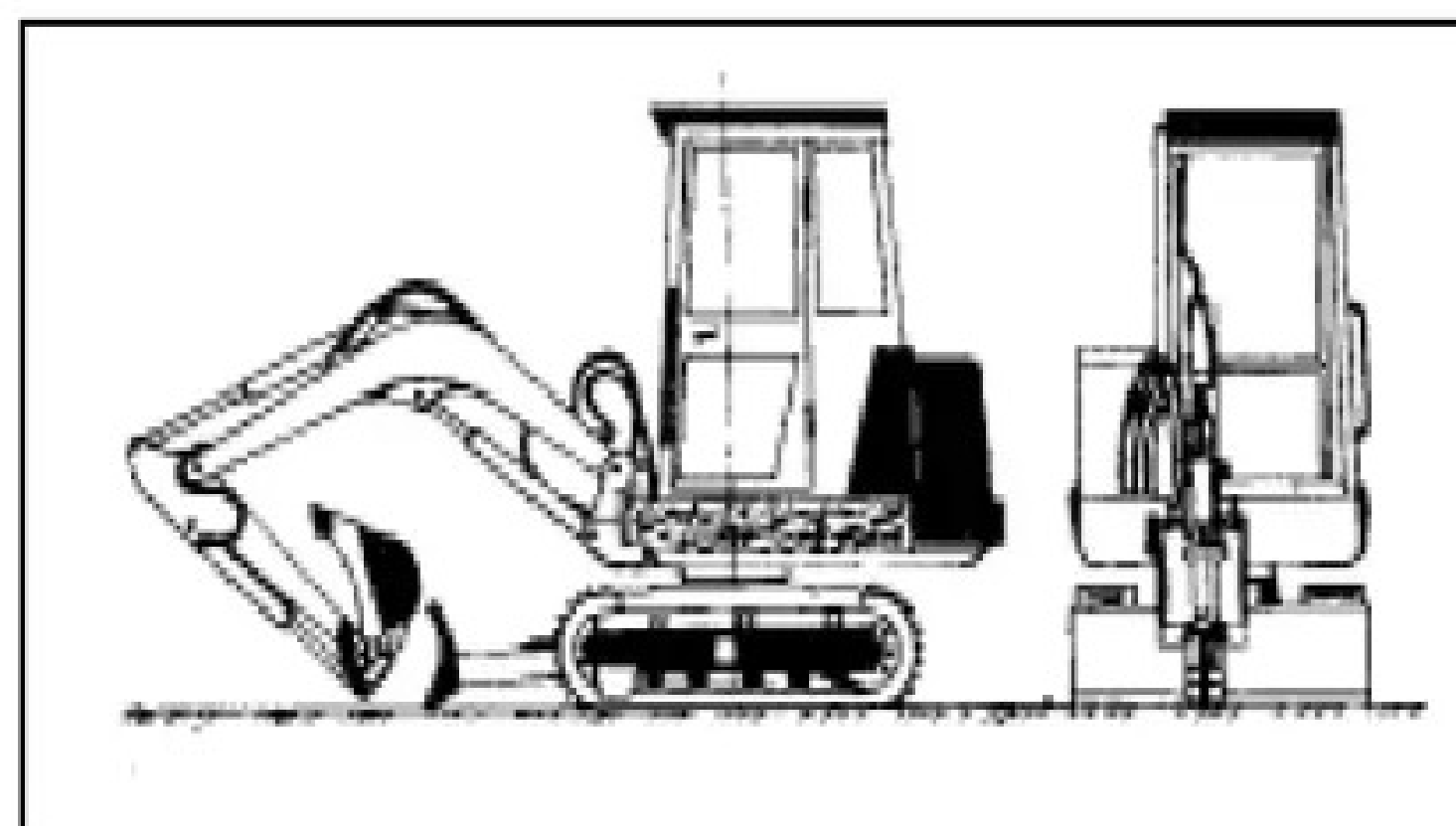
- Chargeur compact.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Les engins de terrassement

- Mini-pelle.



Nota : Origine des divers dessins et photographies :

- "La construction du bâtiment" : Gérard Baud.
- "Constructeur Bâtiment" : Henri Renaud.
- "Précis de Chantier" : Didier, Girard, Le Brazidec, Nartaf, Pralat et Thiesset.
- "Documentation" Caterpillar, O & K, Kubota, Fiat-Allis, Liebherr.





## S.I- TERRASSEMENTS

### Foisonnement

- Les différents types de volumes.

- Lorsque l'on creuse en trou dans le sol, le volume apparent des déblais est supérieur au volume du trou.
- Si l'on remet les déblais en place et après compactage, l'on constate un excédent de matériaux. Ce phénomène de décompression des terres est appelé "foisonnement".

L'évaluation des volumes de déblais se fait en terrain «en place». Le métré est réalisé suivant les plans.

L'évaluation des volumes en remblais se fait en terrain «en place», le métré est réalisé suivant les plans.

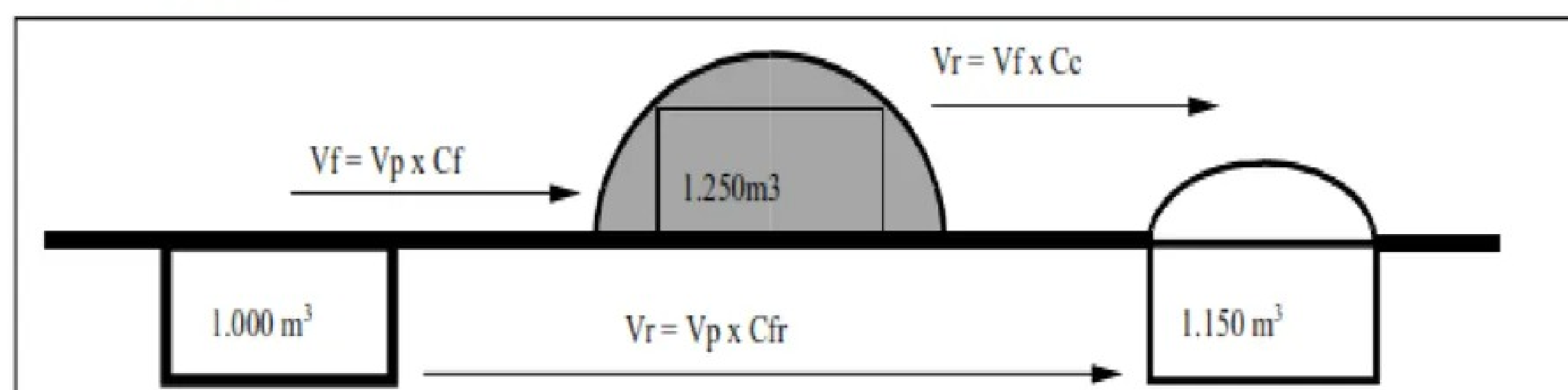
500 M3

15%

$500 \times 1,15 = 575$

<u>Etat initial en place</u>	<u>Etat foisonné</u>	<u>Etat reconstitué (compacté)</u>
Volume en place : $\Rightarrow V_p$	Volume foisonné : $\Rightarrow V_f$	Volume reconstitué : $\Rightarrow V_r$

#### Schématisation



## S.I- TERRASSEMENTS

- Le coefficient de foisonnement ( $C_f$ ) permet d'évaluer le volume apparent foisonné ( $V_f$ ) d'un terrain déplacé en fonction du volume en place ( $V_p$ ) :

$$V_f = C_f \times V_p$$

- Le coefficient de compactage ( $C_c$ ) permet l'évaluation du volume reconstitué ( $V_r$ ) de ce même volume foisonné ( $V_f$ ) après sa mise en place et son compactage définitif. Il est rare d'obtenir un volume de terrain reconstitué ( $V_r$ ) égal au volume initial en place ( $V_p$ ) :

$$V_r = C_c \times V_f$$

- Dans le cas des terrassements routiers ou sur les chantiers de terrassement très importants, il est intéressant de prévoir l'exacte quantité à extraire pour obtenir un volume reconstitué précis. Cela évite les mouvements de terre inutiles et donc onéreux.

Autre relation, on trouve que :  $V_r = V_p \times C_f \times C_c$

$(C_f \times C_c)$  est appelé le coefficient de foisonnement résiduel : ( $C_{fr}$ )

$$V_r = V_p \times C_{fr}$$

Ces divers coefficients sont donnés en pourcentages :

- Si le foisonnement = 25 %  $\Rightarrow C_f = 1.25$
- Si le résidu suite au compactage = 8 %  $\Rightarrow C_c = 1 - 0.08 = 0.92$
- Alors le foisonnement résiduel = 15 %  $\Rightarrow C_{fr} = 1.15$  ; car  $C_{fr} = C_f \times C_c = 1.25 \times 0.92 = 1.15$





## S.I- TERRASSEMENTS

### Exemple pratique.

La réfection de la pelouse du stade omnisports de la ville de St Pierre nécessite la mise en place de 3000 m<sup>3</sup> de terre végétale de bonne qualité. Ce volume représente la quantité finale en place et compactée.

Quelle doit être la quantité à transporter (foisonnée) et la quantité initiale à prévoir (non foisonnée et en place) ?

Terre végétale :      Coefficient de foisonnement apparent 25 %  
                                 Coefficient de foisonnement résiduel 12,5 %

- Si le foisonnement  $C_f$
- Si le résidu suite au compactage  $C_c$
- Alors le foisonnement résiduel  $C_{fr} = C_f \times C_c$



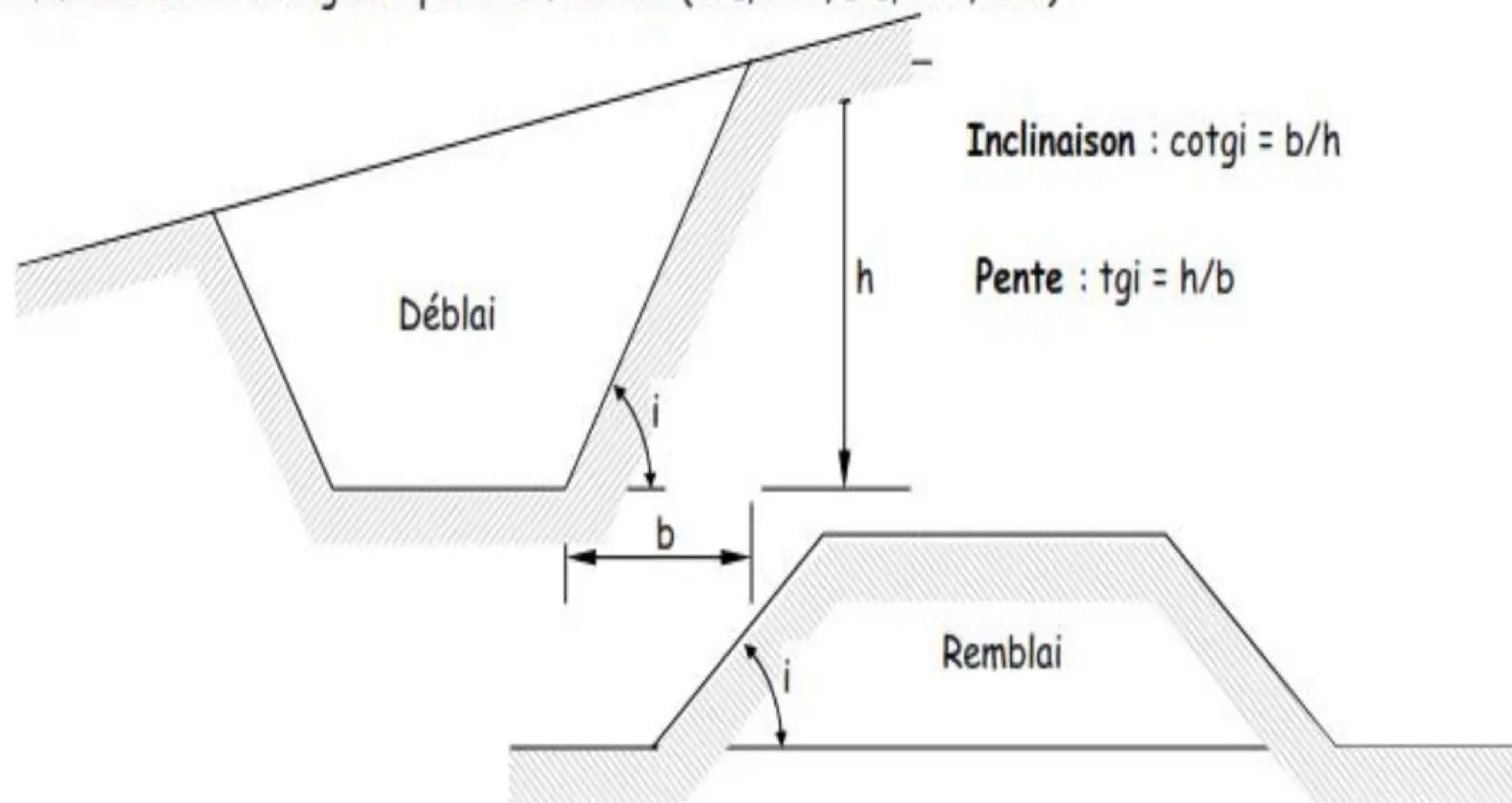


## S.I- TERRASSEMENTS

### Pente des talus.

Pour obtenir un équilibre stable, nécessaire à la bonne tenue des terres en remblais et des tranchées, il convient de donner aux talus qui limitent ces terrassements une inclinaison convenable. Cette pente peut se définir

- Soit par la **tangente de l'angle (pente)** que fait ce talus avec l'horizontale (talus à 4/5 ou à 0.80 m ou encore à 80%)
- Soit par la **cotangente de l'angle (inclinaison)** dont la valeur s'exprime généralement comme celle de la tangente par une fraction (5/1, 3/2, 1/1, 2/3, etc.)



## S.I- TERRASSEMENTS

- Angle des talus.

L'angle  $i$  doit toujours être inférieur à l'angle de frottement interne appelé  $\phi$ , ce dernier étant caractérisé par ce que l'on appelle la pente naturelle des terres, c'est à dire, l'inclinaison que prend un talus soumis à l'action des seuls agents atmosphériques.

Cet angle de frottement interne dépend essentiellement de la nature du degré de consistance et de la teneur en eau du terrain.

En terrain meubles, le degré de consistance du terrain a une grande influence sur la valeur de l'angle  $\phi$ , qui est plus grande pour les talus de déblais en terrain non fraîchement remué ou vierge (terrain naturel) que pour les talus de déblais en terrain rapporté ou fraîchement remué et les talus de remblais.

Cette différence tient au fait que le glissement, les unes sur les autres, des particules constituant une terre meuble, rencontre dans des terrains non fraîchement remués, une résistance distincte de celle provoquée par le frottement réciproque des particules. Cette résistance appelée « **COHESION** », elle est d'ailleurs sujette à s'atténuer ou à disparaître dans les cas de sécheresse, gelée, etc.





## S.I- TERRASSEMENTS

En ce qui concerne la **teneur en eau** du terrain, c'est un correctif important à la valeur de l'angle  $\varphi$ , car elle facilite le glissement des particules les unes sur les autres, en adoucissant leur frottement, ce qui a pour effet de réduire sensiblement cet angle quand le degré d'humidité est élevé. Il faut signaler cependant que les sables humides possèdent une cohésion qu'ils n'ont pas quand ils sont secs ou immergés.

Compte tenu de ces considérations, il faut donc éviter de donner aux talus une pente plus raide que celle du talus naturel de la terre correspondante possédant un degré d'humidité identique.

**Pratiquement** : la valeur  $\varphi$  variant dans des limites assez étendues, il convient d'adopter pour les talus de terrassement les valeurs de l'angle  $i$  données dans le tableau ci-dessous.





## S.I- TERRASSEMENTS

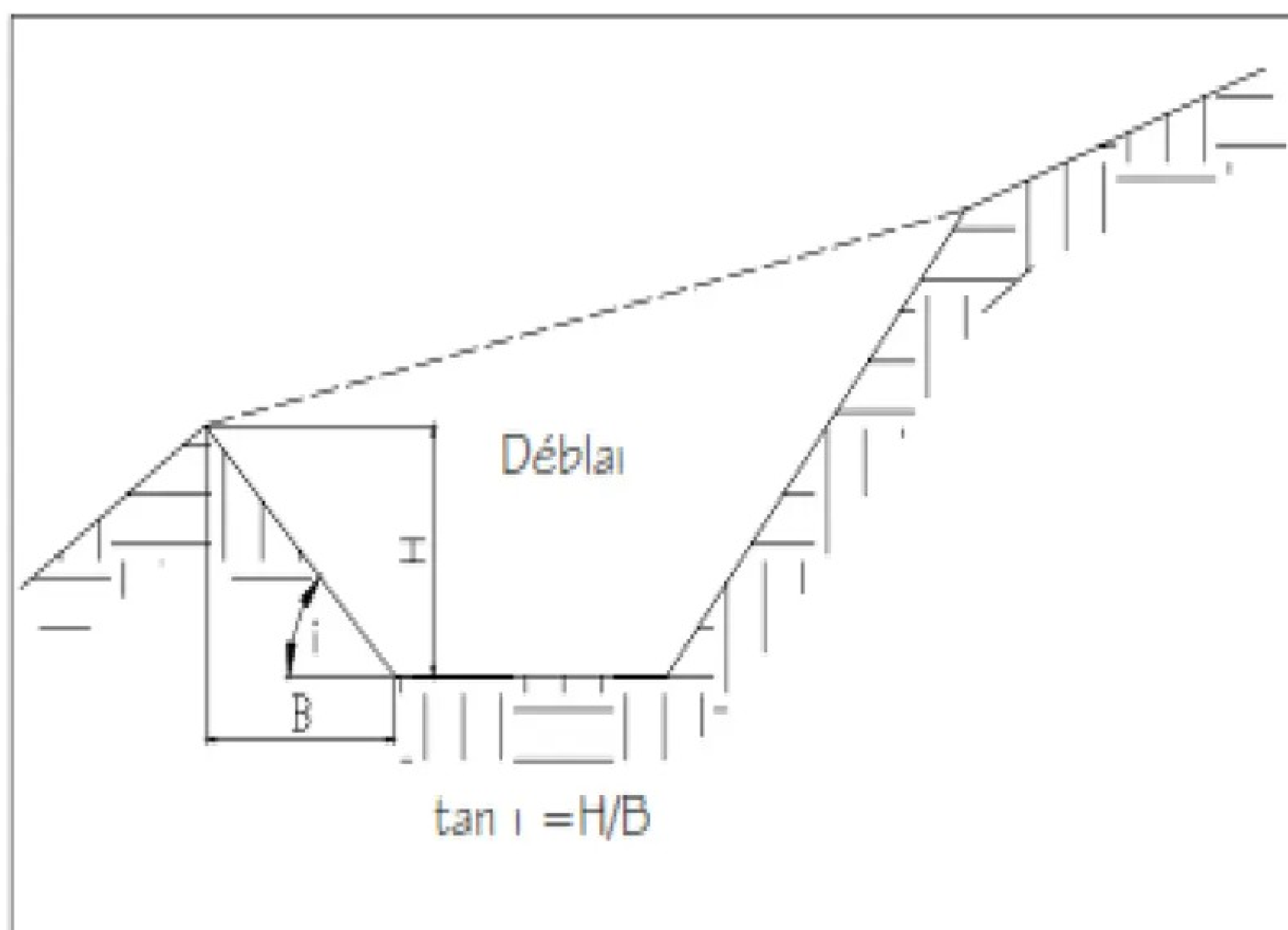
### • Quelques valeurs usuelles.

Les terrains sont classés selon les difficultés d'extraction :

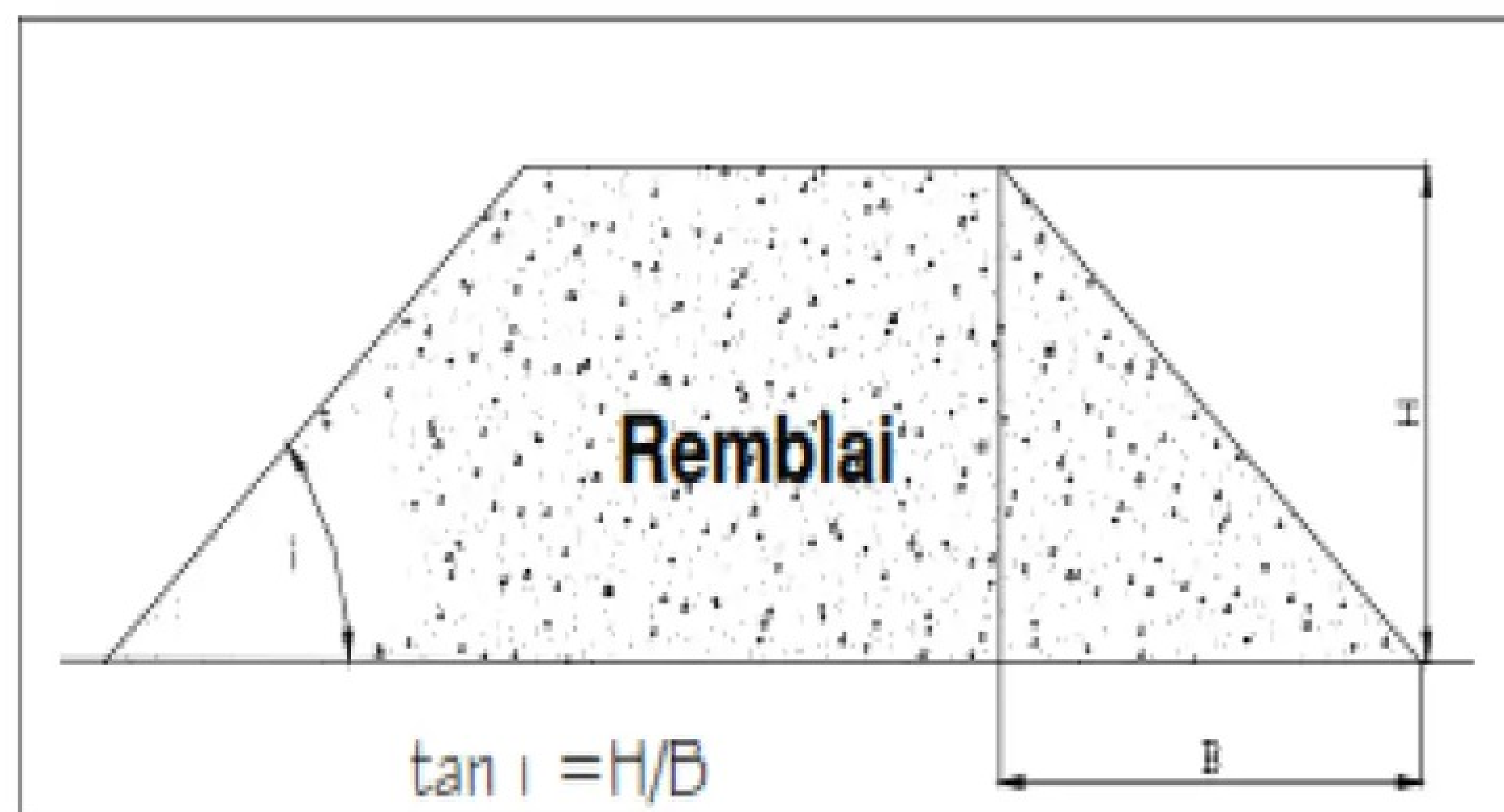
Désignation	Nature des terres	Angle du talus naturel	Coefficient de foisonnement
Terrain ordinaire	Sable	10 à 25°	10 à 20 %
	Gravier	30 à 40°	25 %
	Terre végétale	30 à 50°	10 à 25 %
Terrain semi-compact ou moyen	Cailloux	40 à 50°	50 %
Terrain compact	Argile	30 à 50°	25 %
	Marne	30 à 45°	25 %
Roches	Grès tendre	50 à 90°	50 %
	Roches diverses		plus de 50 %



## S.I- TERRASSEMENTS



Cas d'un déblai



Cas d'un remblai



## S.I- TERRASSEMENTS

### ***Profondeur maximale d'une fouille sans blindage.***

Le creusement d'une fouille sans blindage n'est pas toujours possible. Surtout si sa profondeur dépasse une certaine hauteur critique au-delà de laquelle les parois de cette dernière s'effondreraient.

D'une manière générale la profondeur critique est déterminée par la formule suivante :

$$H_{critique} = \frac{(\pi + 2) \cdot C}{\gamma}$$

Avec C la cohésion : paramètre propre au sol concerné et donné par le rapport du sol  $\gamma$  poids volumique du sol concerné .

à titre d'exemple prenons le cas d'une argile pour laquelle  $C=2\text{t/m}^2$  et  $\gamma=2\text{ t/m}^3$   
alors :

Par contre si on avait à faire à un sable argileux pour lequel  $C=0.7\text{t/m}^2$  et  $\gamma=1.8\text{ t/m}^3$   
alors :





## S.I- TERRASSEMENTS

### ***Profondeur maximale d'une fouille sans blindage.***

Le creusement d'une fouille sans blindage n'est pas toujours possible. Surtout si sa profondeur dépasse une certaine hauteur critique au-delà de laquelle les parois de cette dernière s'effondreraient.

D'une manière générale la profondeur critique est déterminée par la formule suivante :

$$H_{critique} = \frac{(\pi + 2) \cdot C}{\gamma}$$

Avec C la cohésion : paramètre propre au sol concerné et donné par le rapport du sol  $\gamma$  poids volumique du sol concerné .

à titre d'exemple prenons le cas d'une argile pour laquelle  $C=2\text{t/m}^2$  et  $\gamma=2\text{ t/m}^3$   
alors :

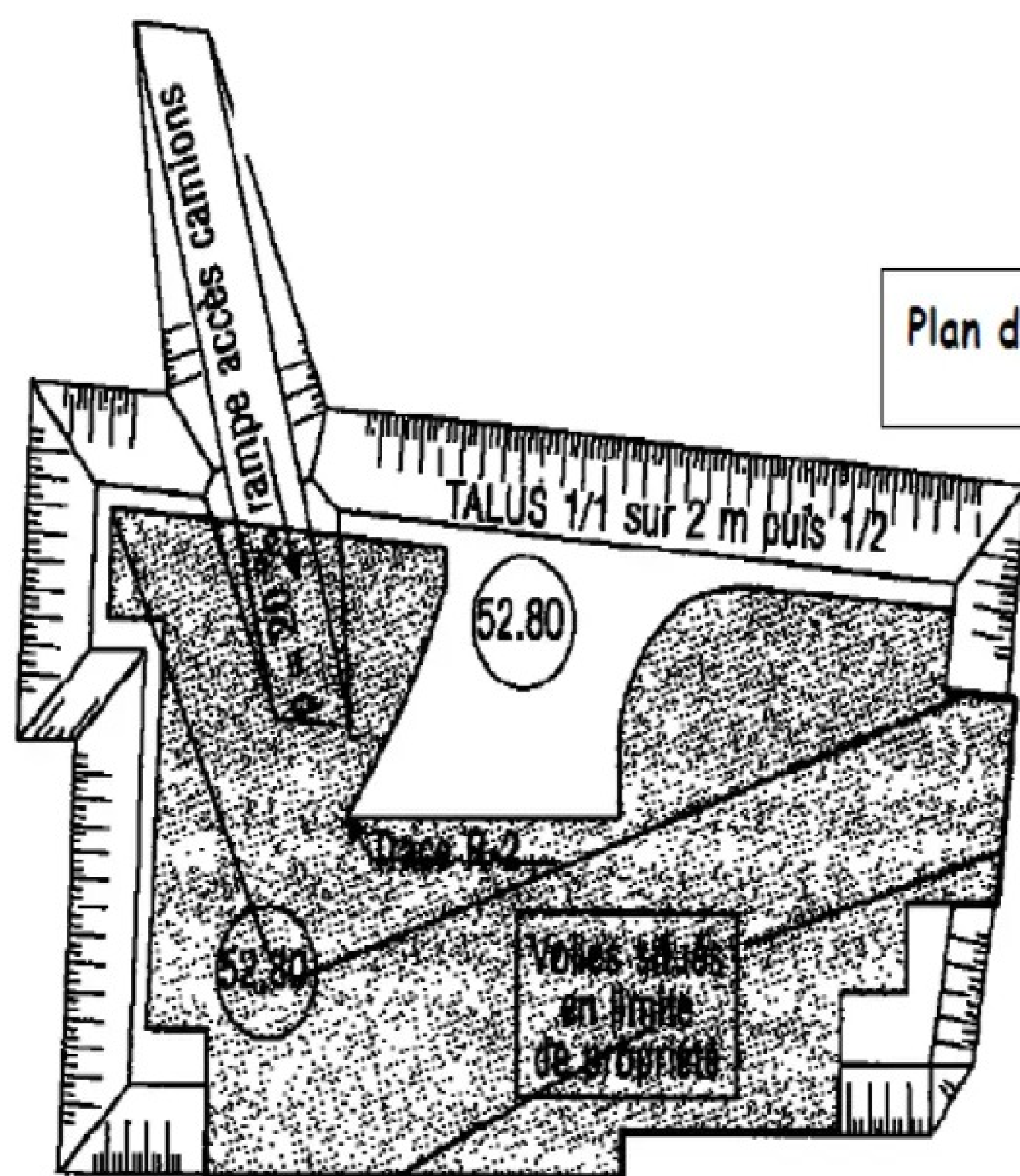
$$H_{critique} = 5.14\text{ m.}$$

Par contre si on avait à faire à un sable argileux pour lequel  $C=0.7\text{t/m}^2$  et  $\gamma=1.8\text{ t/m}^3$   
alors :

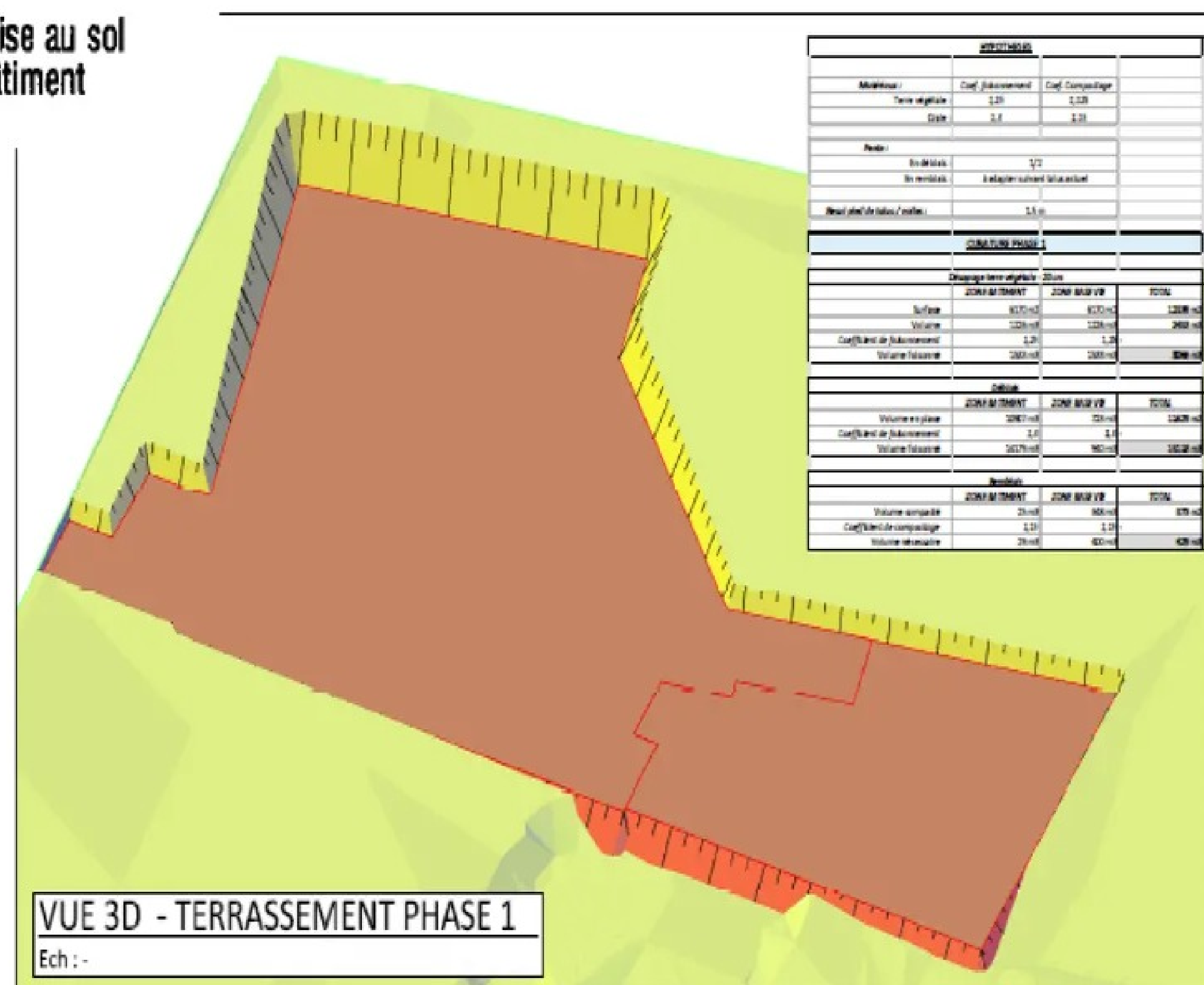
$$H_{critique} = 2.00\text{ m.}$$



## S.I- TERRASSEMENTS



Emprise au sol  
du bâtiment





## S.I- TERRASSEMENTS

### CALCUL DES TERRASSEMENTS.

- PROFIL EN LONG.

- Principe :

Le profil en long représente, superposées, la section du sol et celle de la plate-forme de la voie de communication sur un plan vertical passant par l'axe du tracé développée ensuite sur un plan.

Pour les bâtiments, il s'agit d'une coupe des fondations et fouilles à l'axe longitudinale de ceux-ci.

Pour les travaux routiers (généralement de longueurs importantes) afin de rendre le profil en long plus commode et plus significatif, on déforme systématiquement les lignes figuratives de la surface du sol et de la plate-forme, situées dans la surface sécante par le choix d'une échelle plus grande pour les hauteurs que pour les longueurs.





## S.I- TERRASSEMENTS

### C'est un graphique :

Les abscisses sont à l'échelle des longueurs, les distances comptées horizontalement suivant l'axe à l'origine du tracé.

Les ordonnées sont à l'échelle des hauteurs, les altitudes comptées par rapport à un plan horizontal de référence (plan de comparaison)

Longueurs et côtes de niveau en mètre (2 décimales)

Orientation de la gauche vers la droite.

Le plan horizontal de référence est toujours choisi à une côte ronde d'altitude (multiple de 5 ou 10 m)

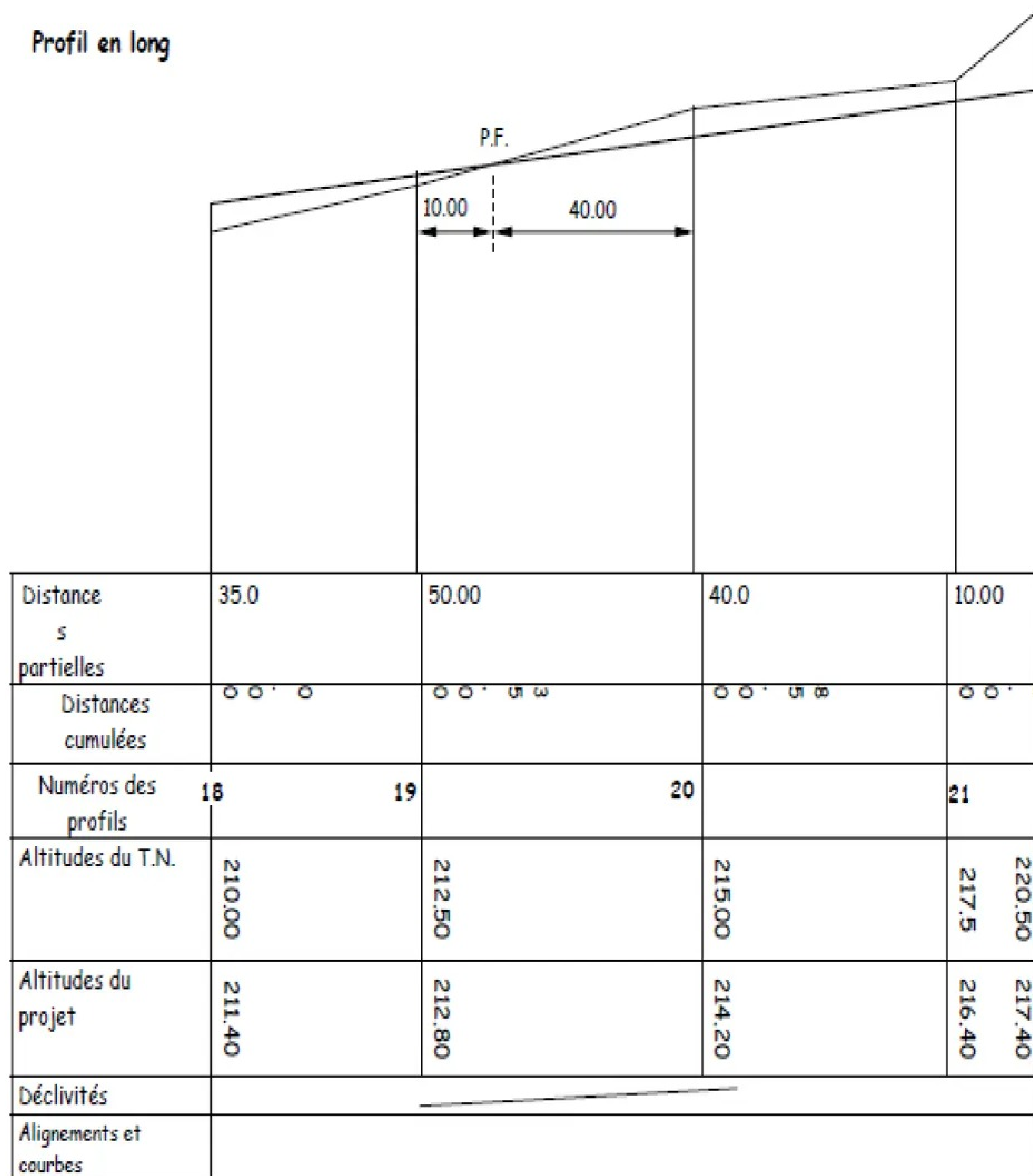
Cette côte doit être inférieure à la côte du point le plus bas du sol ou du projet.

Exemple de cartouche :



## S.I- TERRASSEMENTS

Profil en long



## S.I- TERRASSEMENTS

- **PROFIL EN TRAVERS.**

Ce sont des sections transversales du sol et de ses aménagements par des plans verticaux perpendiculaires à l'axe de la voie ou du bâtiment.

Ces sections ne sont pas déformées, les échelles des longueurs et des hauteurs sont ici toujours les mêmes.

Exemple de profil en travers :

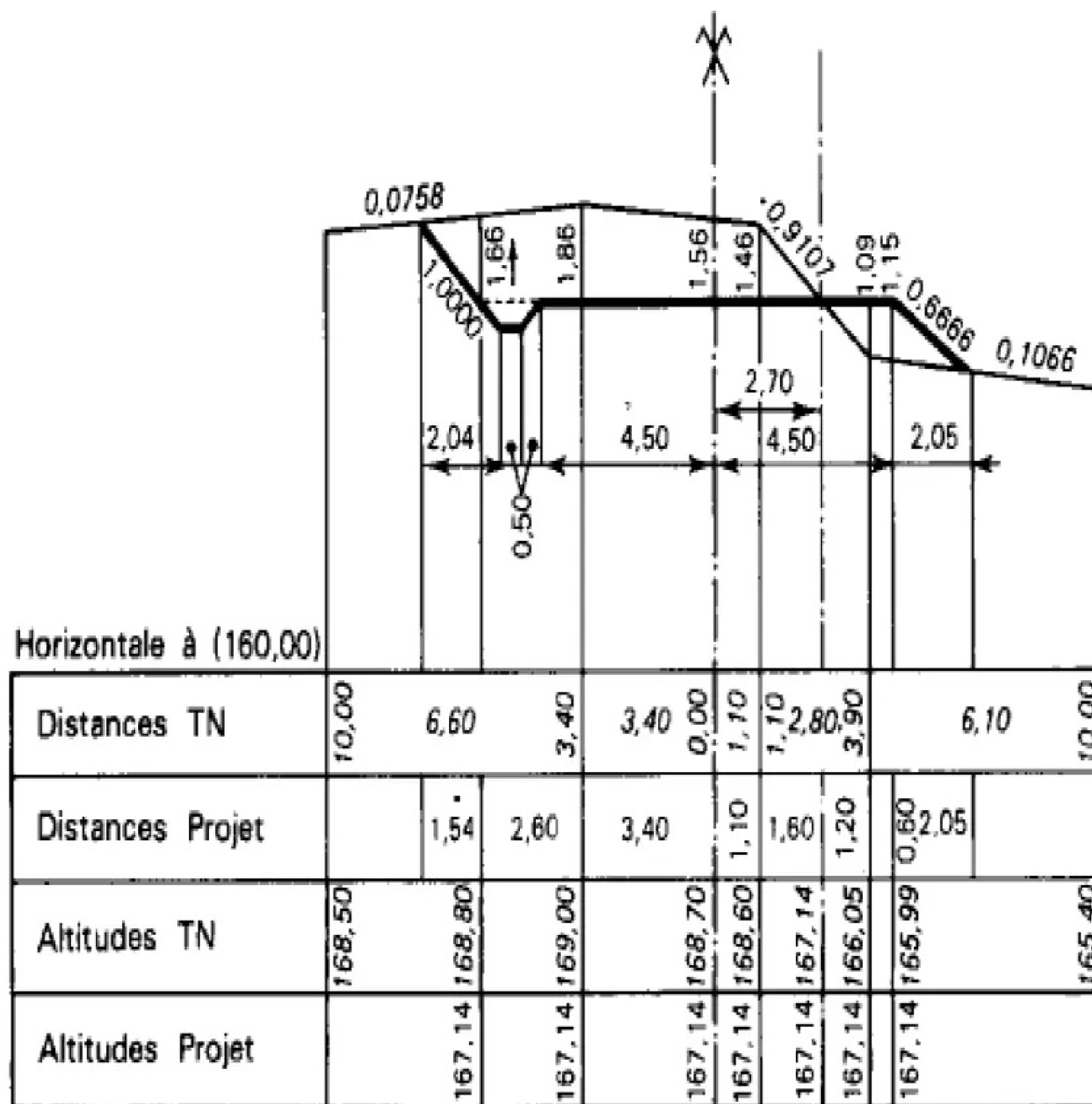




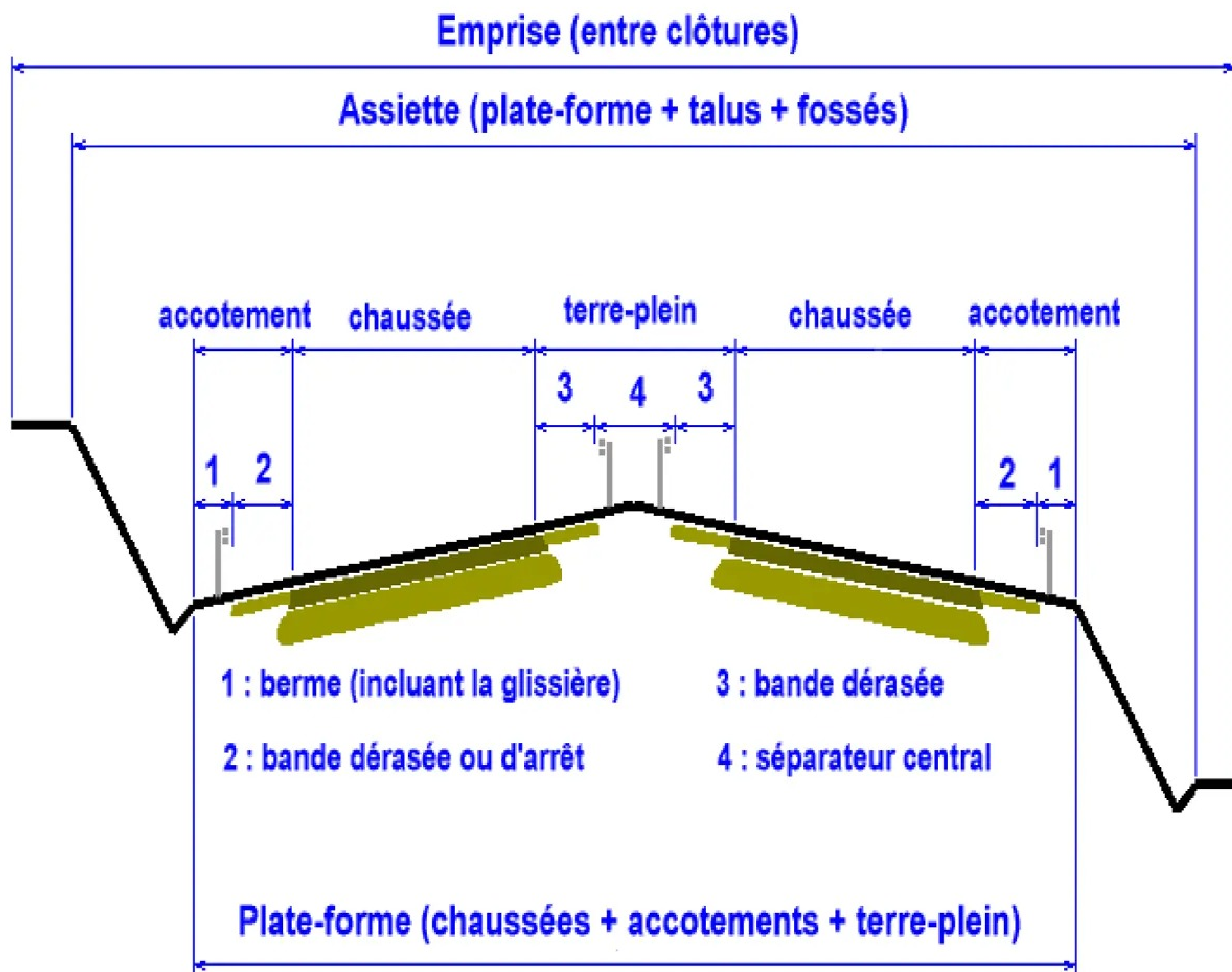
## S.I- TERRASSEMENTS

**P. 27**

P.K. 1.019



## S.I- TERRASSEMENTS

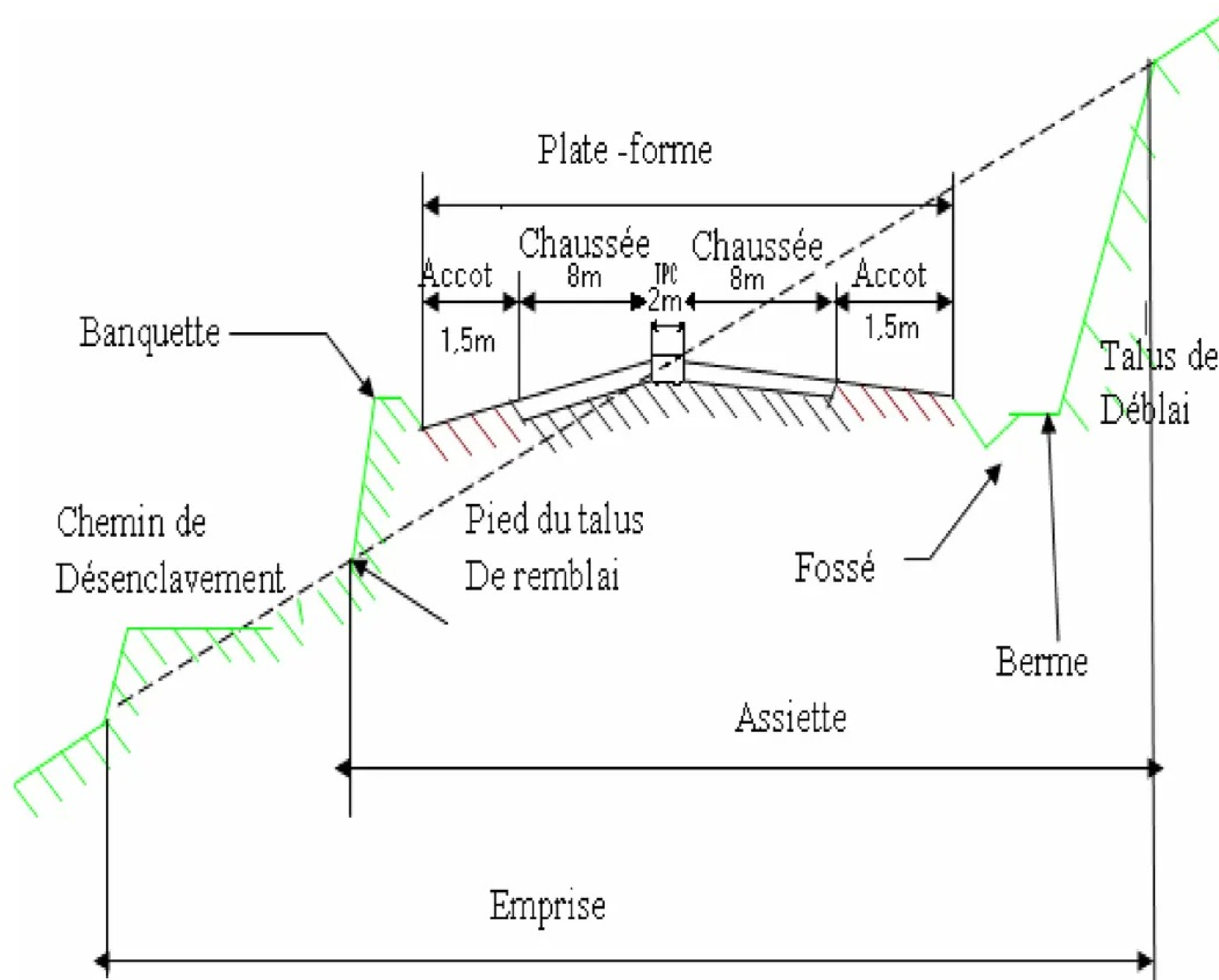


Licence GNU 2003



## S.I- TERRASSEMENTS

### Exemple Profil en Travers Type





## S.I- TERRASSEMENTS

### CALCUL DES CUBATURES.

La cubature des terrassements est l'évaluation du volume des terres à enlever ou à mettre en remblai pour l'exécution du projet.

Cette évaluation se fait de l'origine du projet vers l'extrémité, ce qui amène depuis un profil en travers quelconque à dénommer le profil précédent « profil arrière » et le suivant « profil avant »

Il existe 3 méthodes de calcul des cubatures :

- ⊗ la méthode par le calcul des volumes élémentaires,
- ⊗ la méthode des aires moyennes,
- ⊗ la méthode des profils.

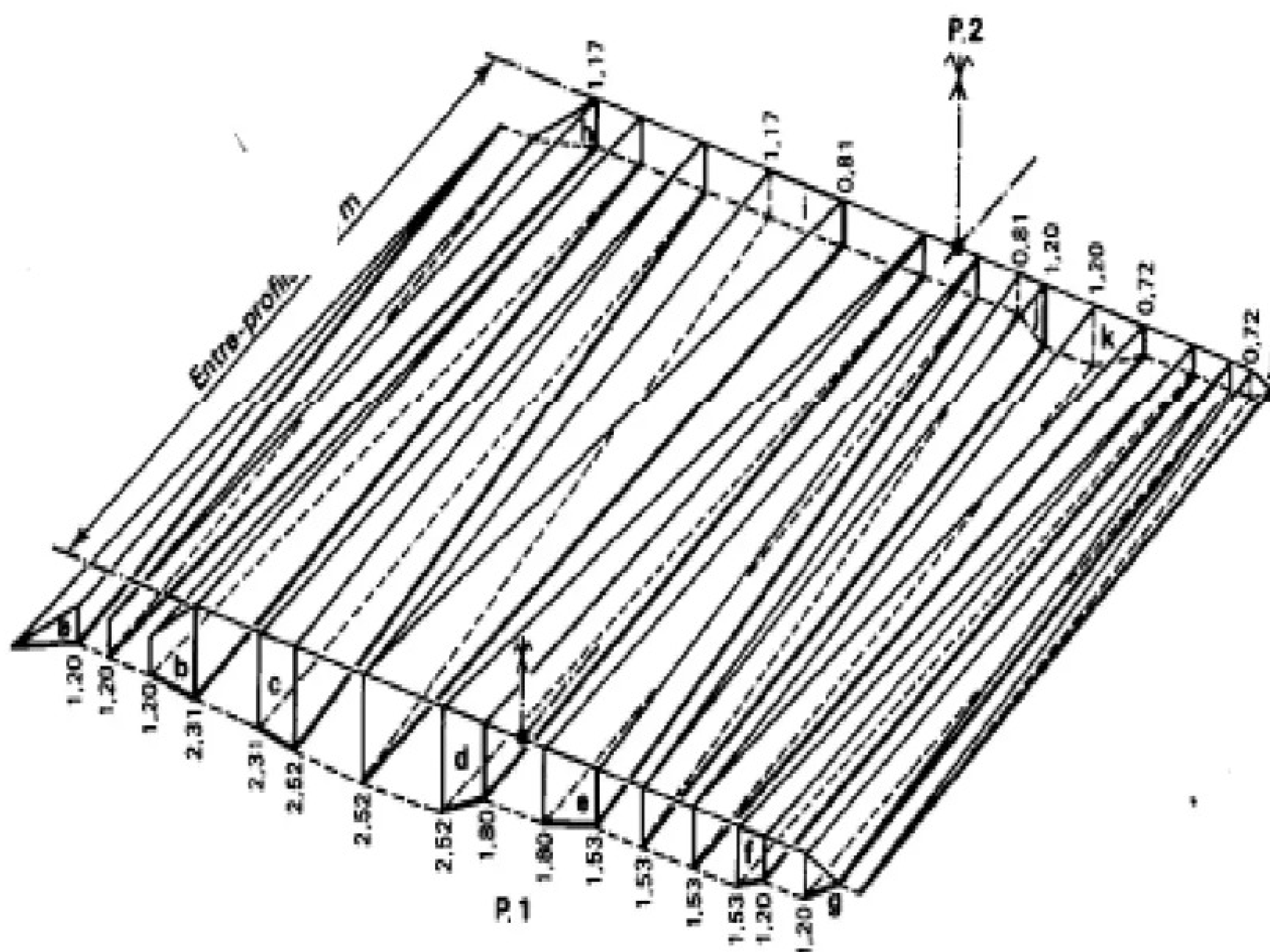


## S.I- TERRASSEMENTS

- Méthode des volumes élémentaires.

On décompose le volume total en volumes élémentaires (pyramides, troncs de prismes, etc...)

*Cubature des terrassements*

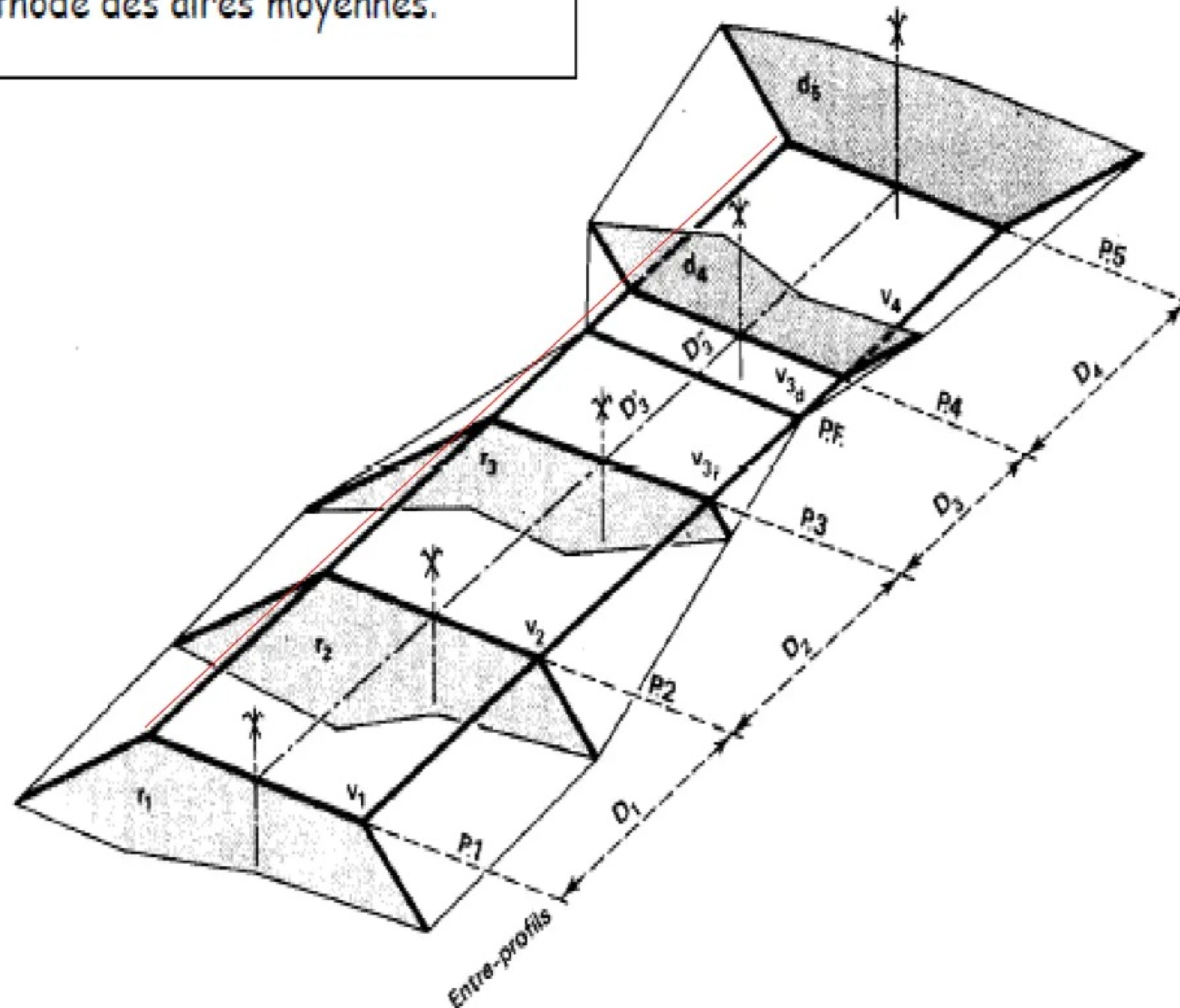


Cet exemple montre combien l'obtention d'un volume mathématique nécessite des calculs longs et compliqués.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Méthode des aires moyennes.



On utilise la formule des 3 niveaux et on obtient :

$$V_1 = D_1 \frac{r_1 + r_2}{2}$$





## S.I- TERRASSEMENTS

Le volume entre 2 profils consécutifs est donc égal au produit de la moyenne des aires de ceux-ci par la longueur de l'entre profil.

### • Généralisation.

Pour une suite de profils, on généralise la formule ci-dessus.

Entre le profil P3 remblai et le profil P4 déblai, il existe une ligne de passage que l'on appellera profil fictif (P.F.) de superficie nulle.

Après avoir calculé la distance horizontale  $D'_3$  entre le profil P3 et le Profil Fictif (voir formulaire profils) appliquer la méthode de la moyenne des aires en considérant qu'au niveau du P.F. se trouve un profil de superficie nulle.

$$\Rightarrow \text{entre P3 et P.F., le remblai vaut : } V_{3r} = D'_3 \frac{r_3 + 0}{2} = D'_3 \frac{r_3}{2}$$

$$\Rightarrow \text{de même entre P.F. et P4, le volume de déblai vaut : } V_{3d} = D''_3 \frac{0 + d_4}{2} = D''_3 \frac{d_4}{2}$$

Ainsi, la méthode s'applique sans interruption à tout un projet, sous réserve de faire intervenir les distances partielles à la ligne de passage (P.F.) quand on passe d'un profil en remblai à un profil en déblai ou inversement



## S.I- TERRASSEMENTS

### ❑ Remblais et couches de forme (infrastructure et travaux routières)

- Généralisation

Pour établir un projet de terrassement, il faut :

- connaître les matériaux concernés,
- disposer des classifications adaptées,
- connaître les conditions de réemplois en remblais des sols déplacés,
- prendre en compte les conditions climatiques locales,
- définir les procédures (matériels et techniques) de compactage.





## S.I- TERRASSEMENTS

### ❑ Remblais et couches de forme (infrastructure et travaux routières)

- Généralisation



051





## S.I- TERRASSEMENTS

### ❑ Remblais et couches de forme (infrastructure et travaux routières)

- Généralisation

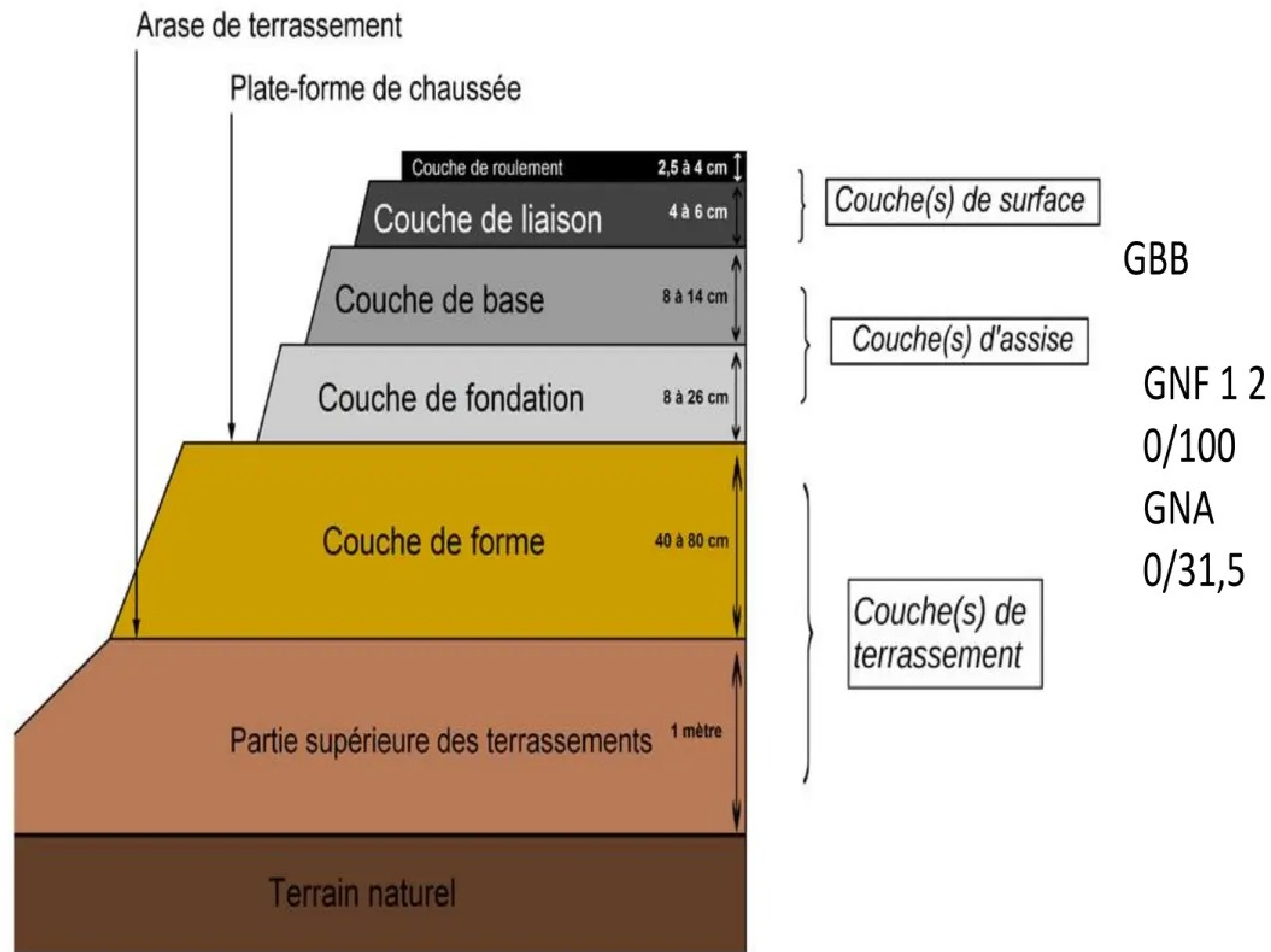


## S.I- TERRASSEMENTS

### ❑ Remblais et couches de forme (infrastructure et travaux routières)

- Généralisation

Coupe transversale d'une chaussée



## S.I- TERRASSEMENTS

- **Les paramètres à retenir sont :**

- la granularité caractérisée par la dimension  $D_{max}$  des plus gros éléments (conditionnant les matériels de mise en œuvre, les possibilités de traitements et d'amélioration), le pourcentage de tamisat à 2mm (passage d'une tendance sableuse à une tendance graveleuse).

- l'argilosité (pourcentage de tamisat à 80 $\mu$ m définissant la sensibilité à l'eau) caractérisée par :

- ☆ L'indice de plasticité  $I_p$ : limites d'Atterberg

- ☆ La valeur de bleu de méthylène VBS

Le comportement mécanique notamment caractérisé par :

- ☆ Le coefficient de Los Angels (LA)

- ☆ Le micro-Deval en présence d'eau (MDE)

- ☆ Le coefficient de friabilité des sables (FS) : Ces essais sont détaillés lors de la présentation des caractéristiques mécaniques des granulats naturels pour le béton hydraulique.





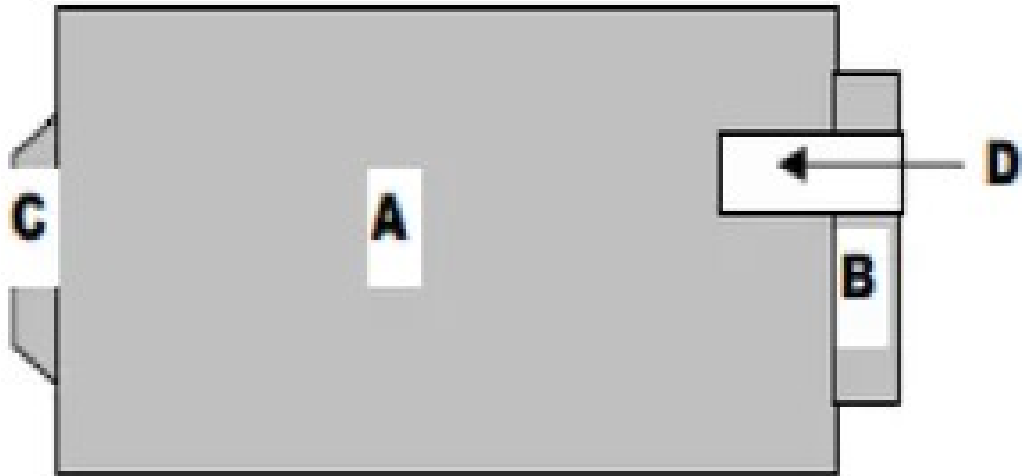
## S.I- TERRASSEMENTS

### ❑ Remblais et couches de forme (infrastructure et travaux routières)

- l'état hydrique caractéristique par :
  - ★ la position de la teneur en eau naturelle ( $W_n$ ) par rapport à l'optimum Proctor ( $W_{opn}$ ) (NF P94-093),
  - ★ l'indice de consistance  $I_c$  (NF P 94-051) : limites d'Atterberg,
  - ★ l'indice de portance immédiat IPI (indice CBR immédiat )

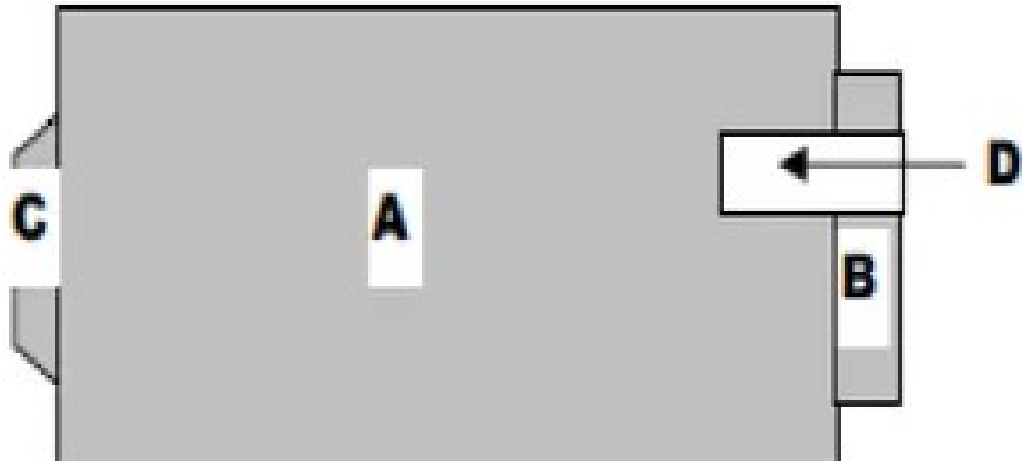


# S.I- TERRASSEMENTS

On demande :	Réponse(s)
<p><u>Situation :</u>            Votre entreprise doit réaliser les opérations de terrassement.            Vous êtes chargés de la préparation du décaissement d'une fondation            (Croquis) qui permettra de réaliser le radier en béton armé.</p> <p>La terre à excaver est de type « marne fragmentée ». foissennement 35%</p> <p><u>Dimensions:</u> A = 16.25 x 7.2 (m) B = 4.30 x 1.05 (m)            C : B=2.85 ; b=2.25 ; h=0.75 D = 3.10 x 1.60 (m)</p> <p><u>On vous demande de :</u></p> <p>1) Calculer le volume de fouille à creuser en m<sup>3</sup>, sur une épaisseur moyenne de 0.47m</p> <p>2) Pour un volume de fouille arrondi à 56,00 m<sup>3</sup>, calculer le volume de déblais à évacuer en m<sup>3</sup></p> <p><u>On exige :</u>            Les valeurs prises en compte sont justes            Les calculs sont pertinents et judicieusement disposés            Les résultats sont justes à + ou - 5% près</p>	<p>1) <u>Volume de la fouille :</u></p> <p>Croquis :</p>  <p>2) <u>Volume de déblais à évacuer :</u></p>



## S.I- TERRASSEMENTS

On demande :	Réponse(s)
<p><u>Situation :</u> Votre entreprise doit réaliser les opérations de terrassement. Vous êtes chargés de la préparation du décaissement d'une fondation (Croquis) qui permettra de réaliser le radier en béton armé.</p> <p>La terre à excaver est de type « marne fragmentée ». foisonnement 35%</p> <p><u>Dimensions:</u> A = 16.25 x 7.2 (m) B = 4.30 x 1.05 (m) C : B=2.85 ; b=2.25 ; h=0.75 D = 3.10 x 1.60 (m)</p> <p><u>On vous demande de :</u></p> <p>1) Calculer le volume de fouille à creuser en m<sup>3</sup>, sur une épaisseur moyenne de 0.47m</p> <p>2) Pour un volume de fouille arrondi à 56,00 m<sup>3</sup>, calculer le volume de déblais à évacuer en m<sup>3</sup></p> <p><u>On exige :</u> Les valeurs prises en compte sont justes Les calculs sont pertinents et judicieusement disposés Les résultats sont justes à + ou - 5% près</p>	<p>1) <u>Volume de la fouille :</u></p> <p>Croquis :</p>  <p><u>Calcul :</u></p> <p>A- <math>16.25 \times 7.20 = 117.00 \text{ m}^2</math></p> <p>B- <math>4.30 \times 1.05 = 4.52 \text{ m}^2</math></p> <p>C- <math>((2.25 + 2.85)/2) \times 0.75 = 1.91 \text{ m}^2</math></p> <p><u>surface brute = 123.43 m<sup>2</sup></u></p> <p><u>à déduire :</u></p> <p>D- <math>3.10 \times 1.60 = 4.96 \text{ m}^2</math></p> <p><u>surface nette = 118.47 m<sup>2</sup></u></p> <p><u>le volume de fouille = 118.44 x 0.47 = 55.681 m<sup>3</sup></u></p> <p>2) <u>Volume de déblais à évacuer :</u></p> <p><u>Marne fragmentée = Terre de classe B <math>\Rightarrow</math> foisonnement = 1.35</u></p> <p><u>le volume de déblai à évacuer : 56.000 m<sup>3</sup> x 1.35 = 75.600 m<sup>3</sup></u></p>





## S.I- TERRASSEMENTS

### Calcul des distances de transport

Le calcul des distances de transport est très important lorsque l'on cherche à établir le nombre de camions affectés à des opérations de déblai ou de remblai.

Lorsque le chargement (déblai) ou le déchargement (remblai) se réalise en un lieu circonscrit, le calcul de la distance de transport est relativement simple. Lorsque le déchargement ou le chargement se fait sur un chantier de terrassement linéaire comme dans le cas de la construction d'un réseau (route, égout/aqueduc, digues/barrages) la distance de transport doit être pondérée en fonction des différents volumes à transporter. Le nombre de camions affectés variera en fonction de la position longitudinale des opérations de déblai ou de remblai sur le chantier. La variation du nombre de camion peut-être importante d'une journée à l'autre.

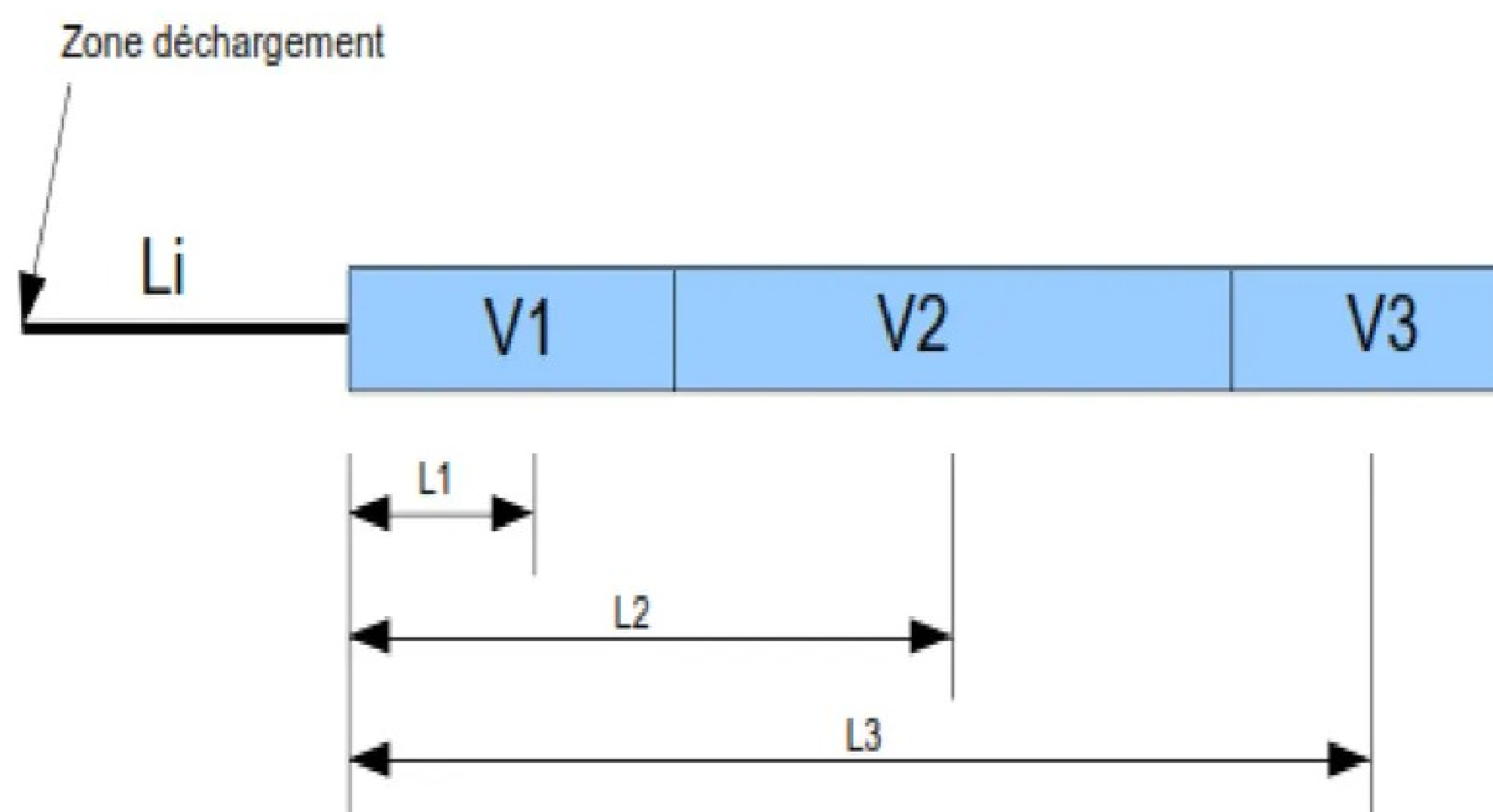
Pour fin d'estimation, lorsque les distances et les volumes à transporter varient considérablement, on peut considérer une distance moyenne et pondérée. Le calcul de cette distance moyenne doit être adapté à la configuration du chantier.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Calcul des distances de transport

Exemple d'application : Dans le cas d'un chantier de terrassement linéaire simple.



$$L_{\text{moy.}} = L_i + \frac{\sum L_n V_n}{\sum V_n}$$





## S.I- TERRASSEMENTS

### Méthodes de terrassement et facteurs relatifs à la production

La majorité des engins de chantier réalise leurs opérations selon une séquence d'opérations répétitives que l'on appelle cycle. Un cycle produit une certaine quantité de travail dans un certain temps. La production des engins de terrassement s'exprime le plus souvent en volume de sol par unité de temps soit en mètre cube foisonné à l'heure ( $m^3/h$ ).

Dans le cas des niveleuses, on exprime la production plutôt en distance par unité de temps et le plus souvent, le mètre ou le kilomètre à l'heure est l'unité employée.

Le temps effectif de travail est de l'ordre de 45 à 55 minutes par heure réelle. Le temps effectif de travail prend en compte les arrêts de production inévitables (ravitaillement, coordination, repos de l'opérateur, etc.). La majorité des engins de chantier sont munis de chronomètres et les plus sophistiqués, d'ordinateur de bord et de GPS qui permettent de calculer périodiquement le temps de travail effectif de l'engin ainsi que sa production.





## S.I- TERRASSEMENTS

ENGINS	Opérations de terrassement/construction routière								Remarques
	Essouchement	Débroussaillage	Décapage	Déblai et transport	Remblai et transport	Compaction	Profilage initial	Profilage final	
Pousseur <i>Bulldozer</i>	✌	✌	↔				✌		Les pousseurs sont également utilisés pour la poussée des décapeuses lors de leur chargement.
Pelles hydrauliques <i>Hydraulic Shovel</i>	✌			✌		☞	☞		Les godets des pelles et des chargeuses peuvent être adaptés à la nature du sol excavé. Les chargeuses sur chenilles sont surtout utilisées sur des sols de faible capacité portante.
Chargeuses <i>Loader</i>				↔	✌				
Décapeuses <i>Scraper</i>			✌	✌					
Niveleuses <i>Grader</i>							✌	✌	
Camions <i>Truck</i>				✌	✌				
Compacteurs <i>Compactor</i>						✌			

Légende :

✌ = efficace et productif

↔ = moyennement efficace et productif

☞ = strictement en mode dépannage



## S.I- TERRASSEMENTS

### Les pelles hydrauliques

Les pelles hydrauliques sont munies de bras articulés et de godets permutables qui permettent l'excavation dans des sols de nature variée. Le plus souvent, les pelles hydrauliques réalisent des travaux d'excavation en mode « rétro (backhoe) » pour des excavations sous le niveau du dessous de la base de la pelle.

Il existe deux types de pelles hydrauliques, les pelles sur roues utilisées sur des sols ayant une bonne capacité portante. Pour les sols de faible capacité portante, le cas le plus courant, on utilisera la pelle hydraulique sur chenille.





## S.I- TERRASSEMENTS

Vu leur plus grande mobilité, les pelles sur roues ont un rendement légèrement supérieur (+/- **15%**) à celui des pelles sur chenilles.

L'utilisation des pelles hydraulique en mode « **frontal** » se fait surtout lorsque l'excavation se réalise au-dessus de la base de la pelle. Le haut de la pelle hydraulique est monté sur un plateau qui lui permet d'effectuer des rotations complètes à 360°. Pour maximiser la production de la pelle, on organise le chantier de manière à minimiser l'angle de rotation nécessaire pour le chargement des camions. Une bonne organisation de chantier devrait permettre le chargement des camions avec une rotation de 90°. La **durée du cycle** d'une pelle hydraulique varie selon plusieurs paramètres comme l'habileté de l'opérateur, l'angle de rotation et la nature du sol excavé. En pratique, on utilise pour une pelle hydraulique sur chenille exécutant une rotation de 90°, les valeurs suivantes :





## S.I- TERRASSEMENTS

- **Sols légers (granulaire) : 0,35 minute**
- **Sols ordinaires (terres organiques) : 0,40 minute**
- **Sols compacts (sols argileux) et blocs de roc : 0,45 minute**

La nature du sol à excaver a également une incidence sur le volume de remplissage du godet. Pour les **sols granulaires**, le godet sera rempli à **100%** de sa capacité. Pour les **sols argileux et organiques**, le godet sera rempli à environ **95%**. Tandis que pour les **débris rocheux et les blocs de rocher**, il le sera respectivement d'environ **85% et 70%**.



## S.I- TERRASSEMENTS

**Exercice 2.2 :** On utilise une pelle hydraulique sur chenille pour excaver un sol argileux. Le godet de la pelle a une capacité de 2 500 litres. La rotation pour le chargement des bennes de camion est de  $90^\circ$ . On demande la production horaire théorique de cette pelle sachant que le taux de travail est de 50 minutes par heure.





## S.I- TERRASSEMENTS

### Solution :

Durée du cycle = 0,45 min

Nombre de cycles par heure =  $50 \text{ min} \div 0,45 \text{ min/cycle} = 111,11 \text{ cycles}$

Production horaire théorique =  $111,11 \text{ cycles} \times 2,5 \text{ m}^3 \times 0,95 = 263,9 \text{ m}^3/\text{h}$

Il s'agit ici de la production théorique, car dans ce calcul, on ne prend pas en compte le temps requis pour la mise en place de la benne des camions sous la portée du godet de la pelle.

Complétons les données du problème. La pelle charge des camions de type « 10 roues » ayant une capacité de chargement de  $12,65 \text{ m}^3$ . Le temps requis pour évacuer un camion plein et installer un camion vide sous le godet de la pelle est de 0,5 minute. Calculons la production horaire réelle de cette pelle.





## S.I- TERRASSEMENTS

**Nombre de coups de godet requis pour remplir une benne de camion = 12,65**

$m^3 \div (2,5 m^3 \times 0,95) = 5,32$  coups soit 5 coups5 pour 11,875 m<sup>3</sup>

**Durée de chargement = 5 coups de godet x 0,45 min/cycle = 2,25 minutes**

**Durée de la mise en place de la benne = 0,5 minute**

**Durée totale du chargement = 2,25 min + 0,5 min = 2,75 minutes**

**Nombre de chargements à l'heure = 50 min  $\div$  2,75 min/chargement = 18,18**  
chargements

**Production horaire réelle = 18,18 charges. x 11,875 m<sup>3</sup>/charge. = 215,9 m<sup>3</sup>/h**

### Remarque :

Pour des raisons d'efficacité, un coup de godet partiellement rempli sera donné dès que le volume à combler dépasse 50% de la capacité du godet.



## S.I- TERRASSEMENTS

### Entretien et amortissement du matériel

#### 1) Entretien des engins:

- ❖ A cause de leur régime dur de travail, et de leurs besoins quotidiens des carburants et lubrifiants, nécessite des opérations d'entretiens.
- ❖ D'après leurs fréquences les opérations d'entretien peuvent être journalières et périodiques.
- ❖ Dans la catégorie d'entretien journalier sont compris les règles suivantes :
  - le levage d'engin à la fin du programme de travail ;
  - le contrôle par le conducteur de l'engin de toutes les points de risque comme suit : la pression des pneus, la flèche de chenille, l'état des tuyaux hydrauliques de haute pression, le niveau d'huile, etc.
  - la vérification usuelle comme : freins serrés, cales en place, godet abaissé, etc.
- ❖ Dans la catégorie des entretiens périodiques sont prévues :
  - les changements des huiles : à moteur, hydraulique, points de graissage,
  - les changements des filtres : l'air, l'huile, gasoil, etc.
  - les changements des pièces usées : pneus, chenilles, freins, tuyaux, etc.





## S.I- TERRASSEMENTS

- ❖ Ces opérations d'entretien sont effectuées dans des ateliers spécialisés qui sont dotées avec des stades des essais, pour vérifier l'importance de l'usure des sous-ensembles.
- ❖ Habituellement, chaque engin est prévu avec un compteur horaire pour le temps de travail, et dans son manuel d'emploi sont donné les numéros des heures de fonctionnement qui quand il doit être arrêter et envoyé à l'atelier.
- ❖ Pour pouvoir suivre les opérations d'entretien il faut établir pour chaque engin une fiche, sur laquelle on peut enregistrer les éléments suivants :
  - la consommation journalière des carburants et lubrifiants,
  - le numéro des heures de travail,
  - les entretiens préventifs ;
  - les pannes ou les accidents techniques ;
  - les coûts de ces opérations, etc.





## S.I- TERRASSEMENTS

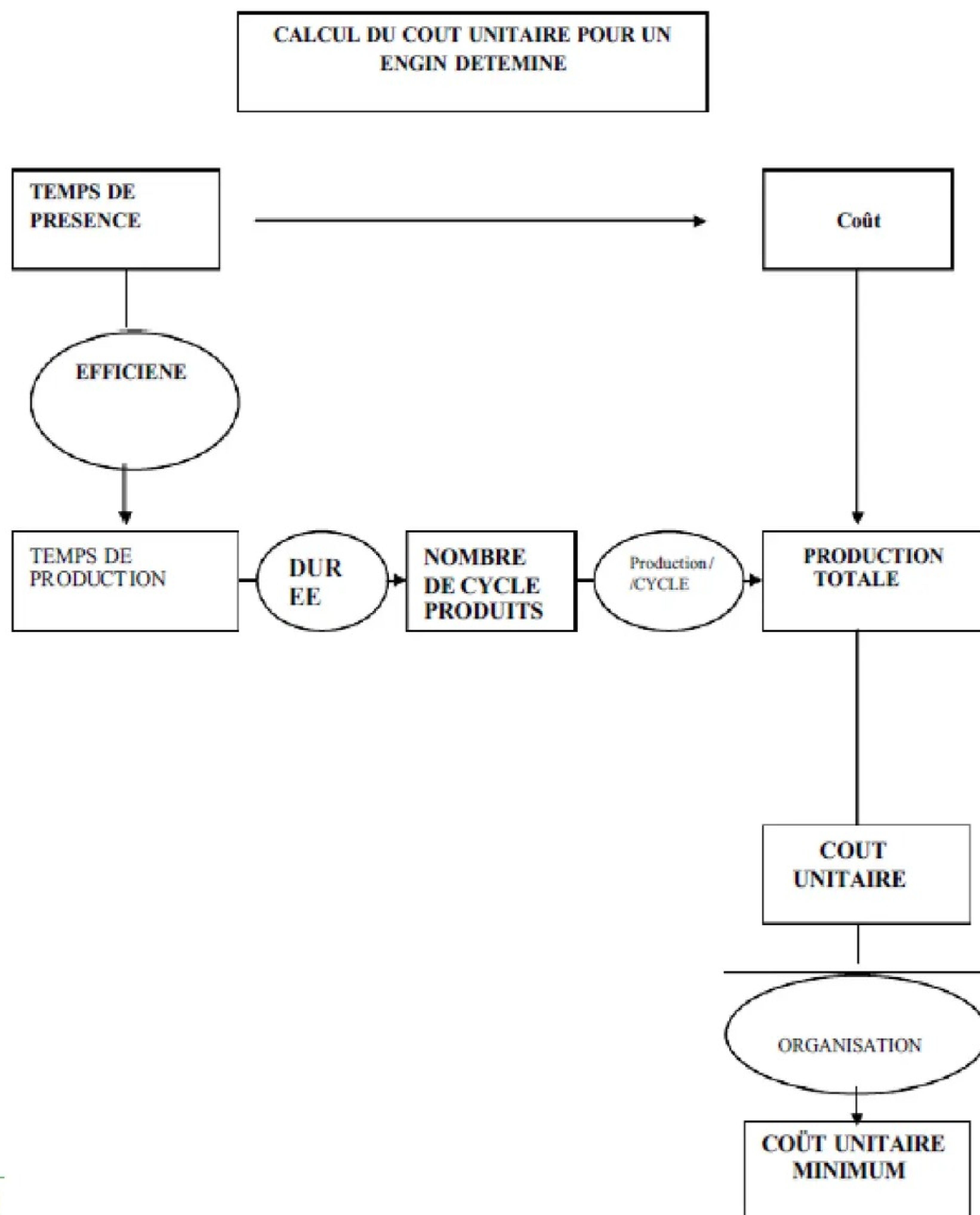
### Entretien et amortissement du matériel

#### 2) Les calculs des amortissements des engins:

- ❖ Il n'existe pas d'engin capable de travailler avec un rendement de 100%, à cause des arrêts suivants :
  - Entretien de la machine et des accessoires (par exemple : graissage) ;
  - Petites pannes (par exemple : changement d'un tuyau flexible) ;
  - Réglage des machines ;
  - Déplacement d'un poste de travail à un autre ;
  - Arrêts du conducteur ;
  - Arrêts pour exécution d'autres ouvrages (par exemple : pose des tuyaux) ;
  - Arrêts dus à la circulation du chantier ; etc.
- ❖ Par rapport à ces éléments on doit compter un rendement de 80% (pour une heure de travail Reste 50 minutes) pour les travaux pendant la journée et de 66% (pour une heure de travail reste 40 minutes) pour les travaux pendant la nuit.
- ❖ Si on veut déterminer le coût d'un engin sur chantier on utilise un schéma :



## S.I- TERRASSEMENTS



## S.I- TERRASSEMENTS

On peut conclure de ce schéma que les éléments qui peuvent influencer la valeur de coût d'un engin, sont en principe les suivants :

- le coût de main d'œuvre de fonctionnement,
- le coût de main d'œuvre d'entretien et de réparation,
- le coût des matières consommables : carburants, lubrifiants, etc.
- le coût d'amortissement,
- le coût d'assurance et frais divers.

❖ **Amortissement** – représente la déperdition de la valeur marchante du matériel par : usure, endommagement, diminution des qualités techniques, perte des valeurs par rapport aux engins plus modernes, etc.

❖ La valeur d'amortissement d'un engin peut être déterminée par plusieurs méthodes, mais les plus utilisées sont :

- a) la méthode d'amortissement uniforme,
- b) la méthode d'amortissement dégressif,





## S.I- TERRASSEMENTS

### a) la méthode d'amortissement uniforme

C'est une méthode très simple et par la suite très utilisée. Elle consiste à répartir le montant à amortir de la manière suivante :

- prix d'achat (**Po**) moins le prix de liquidation (**Pr**) nous donne une valeur :

$$M = P_o - P_r ;$$

- dans ce cas, si on fixe avec (**n**) numéro des années correspondantes à la vie de l'engin, alors la charge de l'amortissement est déterminée avec la relation :

$$e = \frac{M \quad P_o - P_r}{n} = \frac{\quad}{n}$$

- si l'on divise cette valeur annuelle par 12 mois, on trouve la valeur d'amortissement mensuelle, qui s'utilise comme valeur de calcul à la facturation.



## S.I- TERRASSEMENTS

### b) la méthode d'amortissement dégressif

dans ce cas il faut intervenir un pourcentage constant (  $r$  ) de la valeur du matériel restant à amortir, pendant toute la durée d'amortissement.

- pour la première année dans ce cas on amortira la valeur :

$$e_1 = P_0 \times r ;$$

- pour la deuxième année la valeur est :

$$e_2 = P_0 \times (1 - r) ;$$

- pour la dernière année de la vie d'engin (  $n$  ) on trouve :

$$e_n = P_0 \times (1 - r)^n ; \text{ d'où on peut déduire que :}$$

$$r = 1 - (P_r / P_0)^{1/n} ;$$

- pour cette méthode on peut conclure que on ne peut jamais amortir intégralement un engin, puisqu'il reste toujours une valeur résiduelle.



## S.II- Stabilité des sols

# Séquence 2

## La stabilité des sols et consolidation des terrassements





## S.II- Stabilité des sols

# La stabilité des sols



## **S.II- Stabilité des sols**

### **But de la stabilisation du sol**

Il est nécessaire de stabiliser les sols, car ils sont souvent si bourbeux qu'il est compliqué d'effectuer des travaux de construction, dessus. De plus, la stabilisation s'avère indispensable pour que les fondations soient bien posées et restent stables au cours du temps. Par ailleurs, sa réalisation doit se faire par des professionnels. En effet, seuls les puissants véhicules à transmission intégrale peuvent réaliser cette mission de stabilisation. Ils disposent de grandes roues à grosses nervures, d'une traction élevée et d'un puissant entraînement de translation.



## S.II- Stabilité des sols

La stabilisation du sol a pour objectif de fixer de façon permanente l'eau dans le sol en incorporant de la chaux ou le ciment. L'utilisation de ces deux produits est une option économique et écologique.

Par ailleurs, la stabilisation du sol à base de ciment augmente la résistance du sol aux sollicitations de la circulation, à la pénétration de l'eau et du gel. Le ciment est utilisé dans les sols à faible plasticité et qui ne s'adaptent pas à la chaux à cause de leur faible teneur en argile. Il a la particularité d'être un liant fort, car il apporte au sol stabilité, cohésion, résistance mécanique et améliore la portance.

Quant à l'utilisation de la chaux, c'est un moyen efficace pour modifier les sols et les améliorer en termes de maniabilité et de capacités portantes. Elle augmente également leur stabilité et leur imperméabilité. De plus, la chaux permet de rendre friable un sol argileux, ce qui facilite son travail ultérieur lors des opérations de compactage.

La chaux vive permet aussi d'abaisser le taux d'humidité du sol, si bien qu'il soit possible de traiter, de consolider et de rendre praticable, même si le sol est humide. La couche traitée sera de nature perméable, supportera des tonnages importants, tout en résistant aux variations de température.



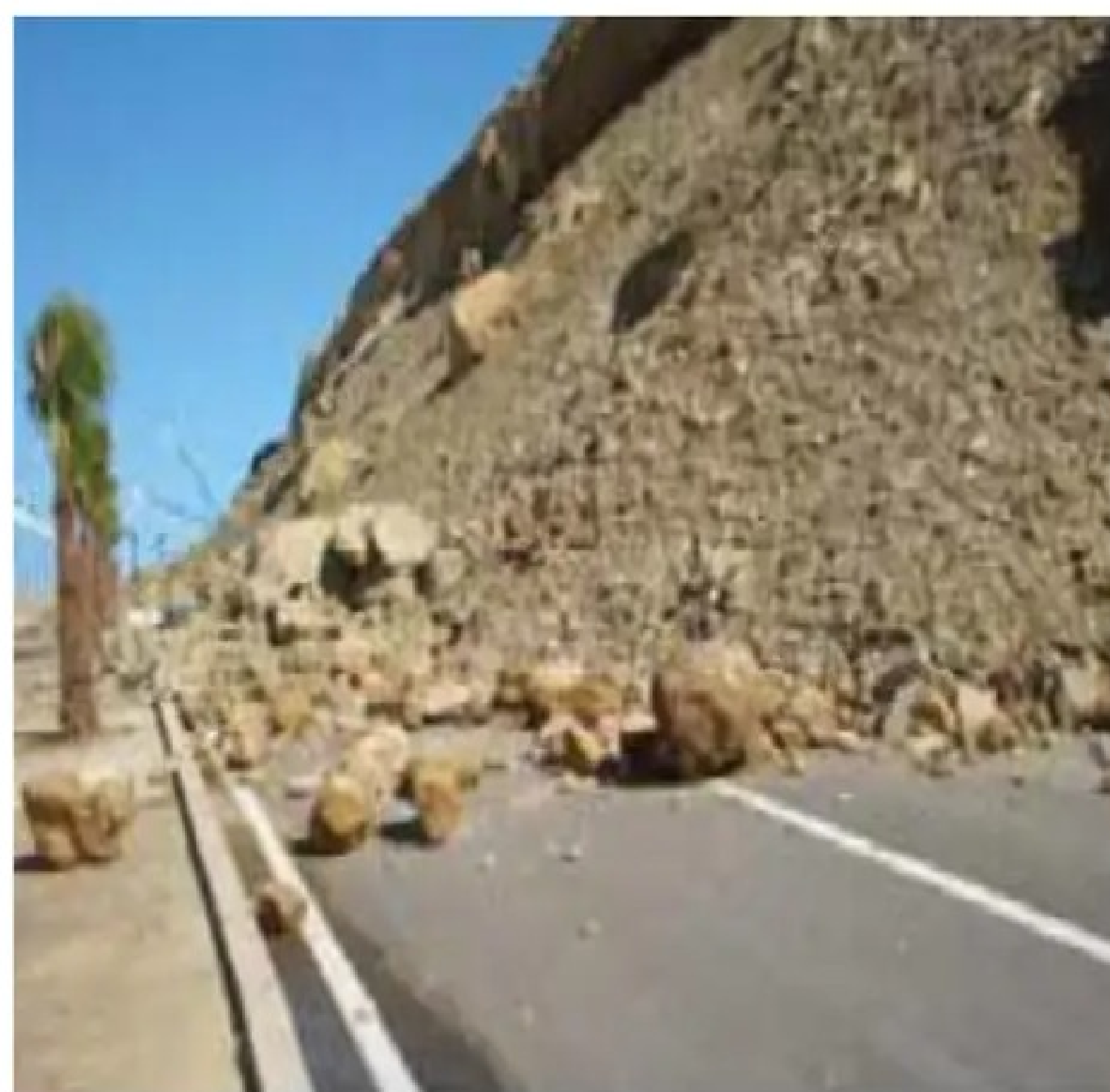


## S.II- Stabilité des sols





## S.II- Stabilité des sols



CORNICHE AL HOCEIMA



AUTOROUTE RABAT/FES - DEBLAI - SUBSTITUTION



Autoroute Rabat/Fes - RM stabilisé par une butée (remblai sur versant)



GLISSEMENT TOUCHANT PONT QUI A ETE REMPLACÉ



CORNICHE AL HOCEIMA - ADOUCISSEMENT PENTE





## S.II- Stabilité des sols

### Typologie des mouvements du terrain

La stabilisation des sols est une technique qui s'avère judicieuse à chaque fois que l'on doit modifier les caractéristiques des sols pour les préparer en vue d'un traitement ultérieur.

#### - Glissement des sols

Est un déplacement généralement lent (quelques mm par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture (surface de cisaillement) identifiable, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables. Cette surface est généralement courbe (glissement circulaire), mais elle peut aussi se développer à la faveur d'une discontinuité préexistante telle qu'un joint de stratification (glissement plan). Les profondeurs des surfaces de glissement sont très variables : de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, voire la centaine de mètres pour certains glissements de versant.





## **S.II- Stabilité des sols**

### **- Le Fluage**

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles. Dans le cas de fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture. Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait, le matériau plus est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut: soit se stabiliser, soit évolué vers une rupture.

### **- La coulée de boue**

Est un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elle prend fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.

Phénomènes caractérisés par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide. Les coulées ont lieu dans des formations argileuses, ou à granulométrie très fine (Marnes, schiste argileux, flysch argileux.....) fissurées ou saturées a plasticité moyenne.

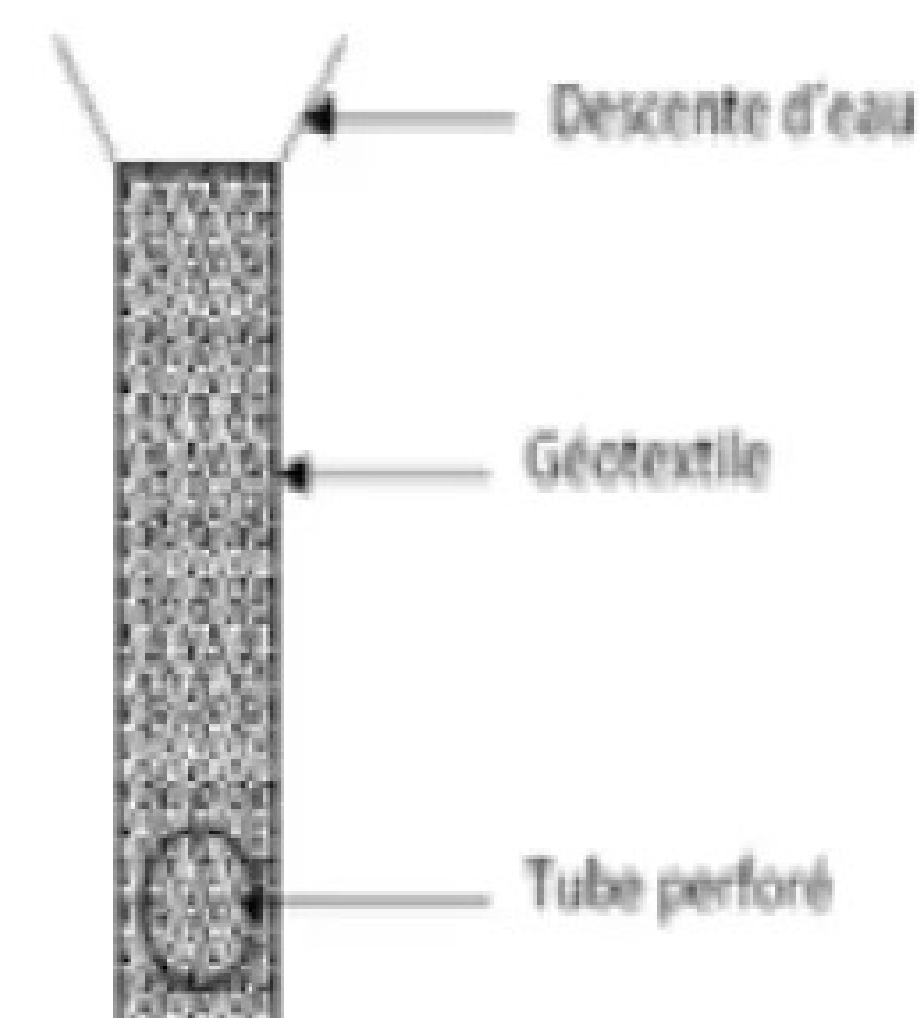
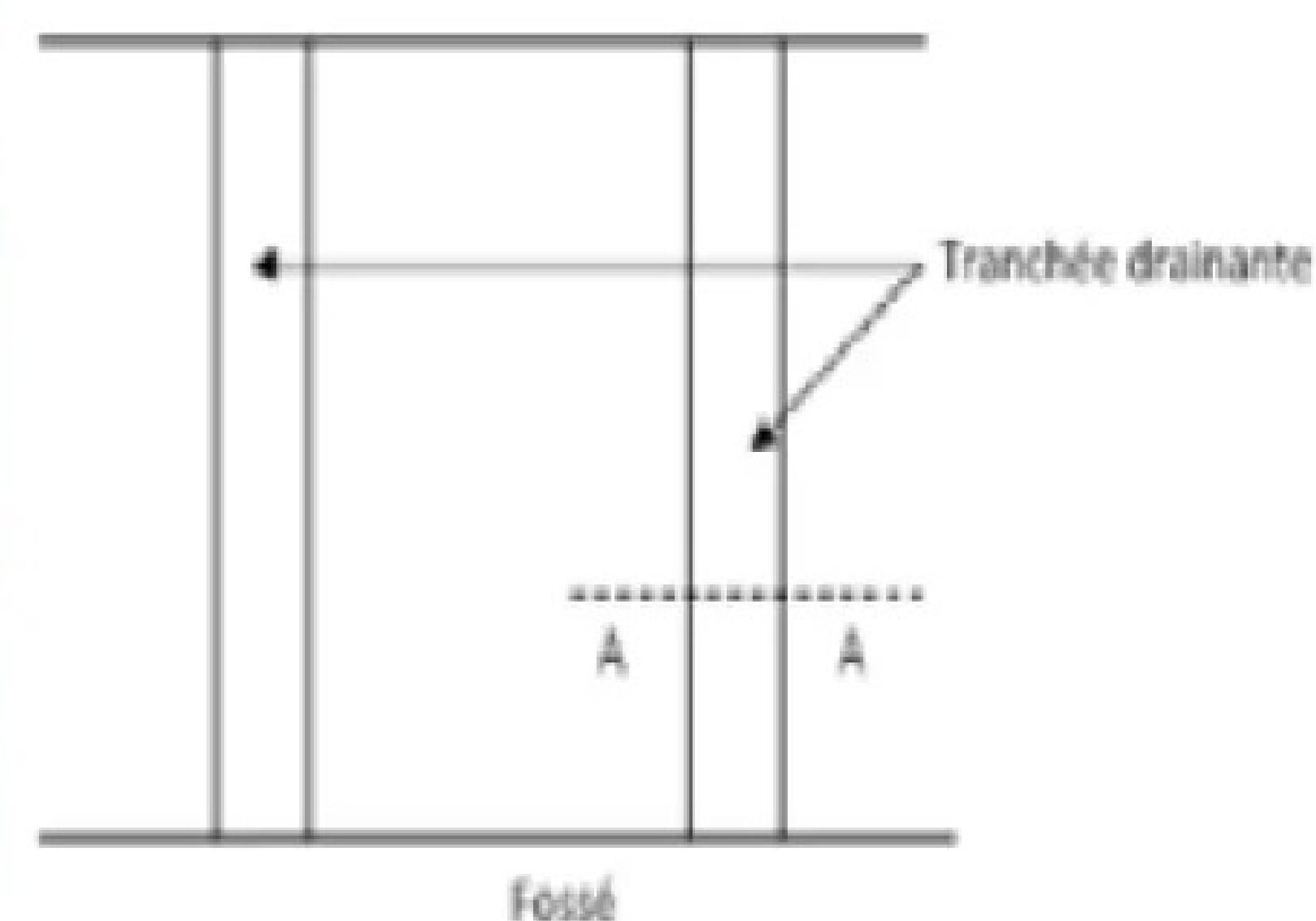
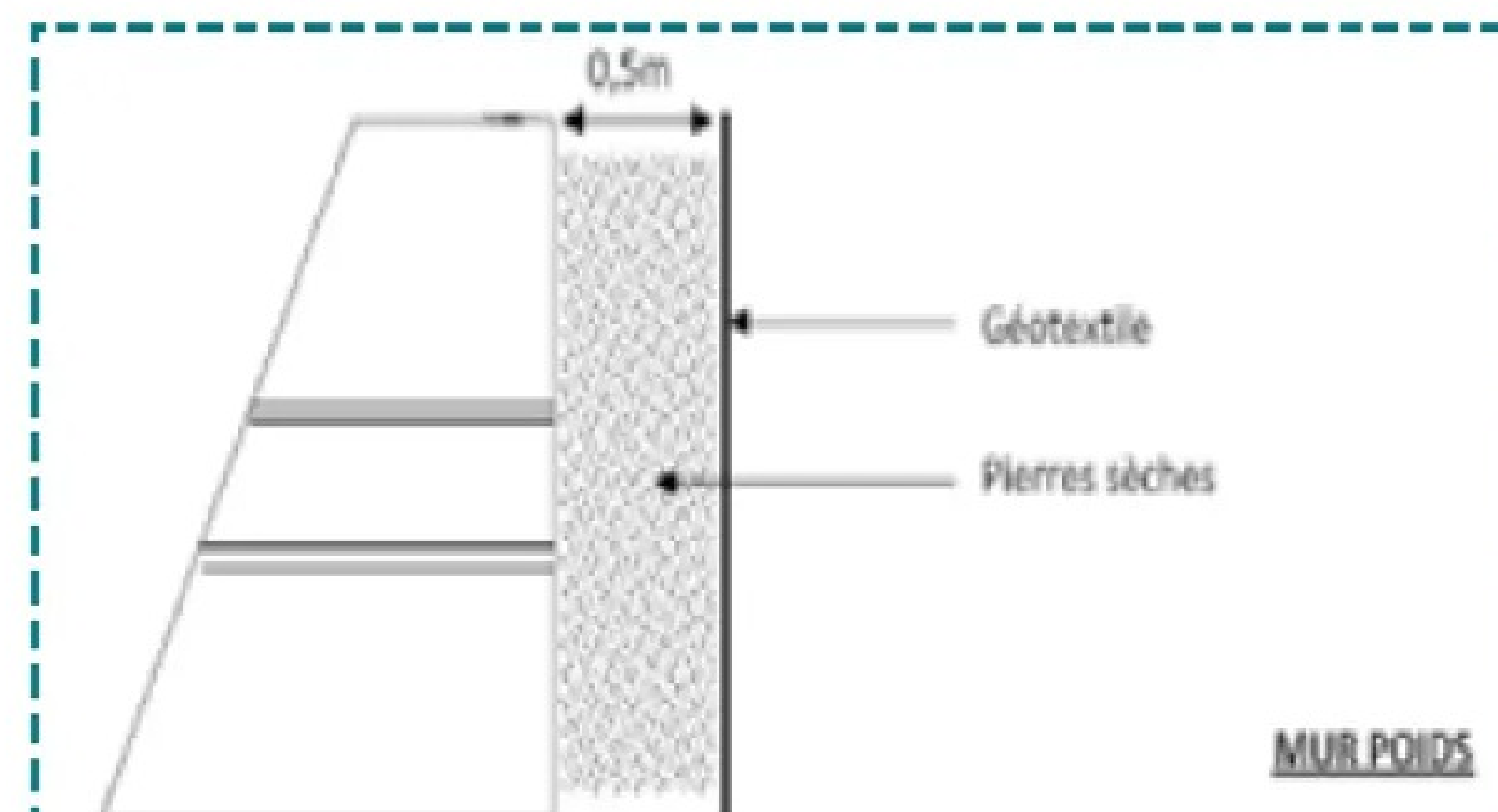
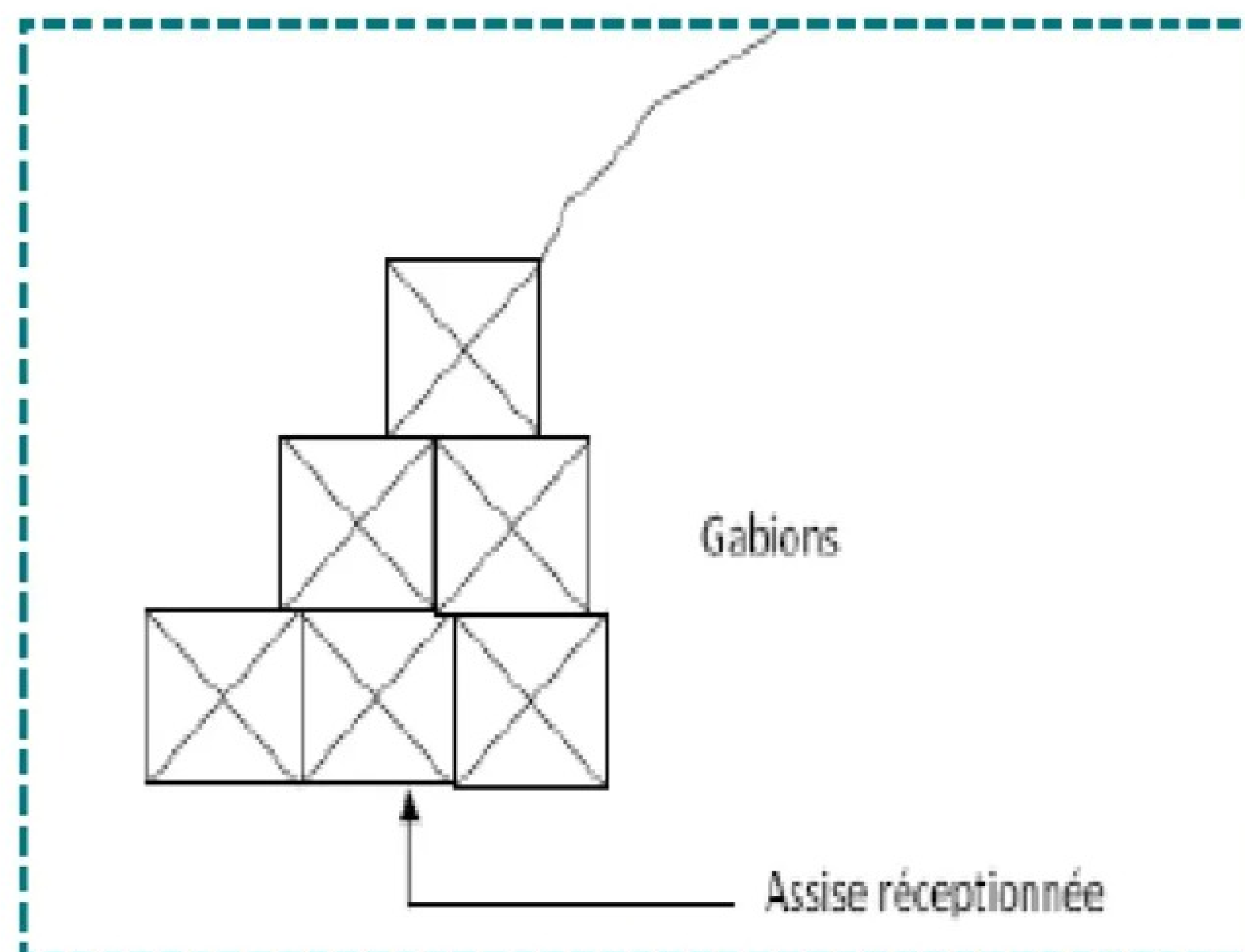


## S.II- Stabilité des sols - Technique de stabilité des sols :

### Les traitements adoptés consistent :

- En quelques endroits des murs de soutènement (pois, ...)
- Gabions
- Tranchées et éperons drainants.

Ces traitements sont donnés par expérience et sans aucun calcul de dimensionnement. L'intérêt de ces ouvrages est qu'ils sont souples et se déforment avec le sol.





## S.II- Stabilité des sols



LIGNE FERROVIAIRE TANGER/RAS RMEL - CONFORTEMENT PK35 PAR  
PIERRE ++ TROIS LIGNES DE TIRANTS





## S.II- Stabilité des sols

### - Technique de stabilité des sols :

#### Histoire de la technique de Terre Armée

Depuis la construction des premiers ouvrages en Terre Armée dans les années 60, cette technique s'est développée grâce à ses qualités (souplesse vis-à-vis les déplacements et la rapidité d'exécution) qui ont permis d'élargir son domaine d'application en passant de simples ouvrages de soutènement jusqu'aux ouvrages d'art comme les culées de ponts.

Cette évolution a été accompagnée essentiellement par le développement des matériaux constitutifs des massifs en Terre Armée notamment les armatures.



Emplacement du mur de la Terre Armée par rapport aux constructions





## S.II- Stabilité des sols

### Avantages de la Terre Armée

Etant une technique innovante, la technique de la Terre Armée se distingue par :

- La rapidité d'exécution, la préfabrication, la continuité avec les terrassements qui sont des éléments propres à la Terre Armée et dont il faut en tenir compte dans la comparaison économique. En effet, les éléments sont préfabriqués en usine ou dans l'atelier et assemblés sur place ce qui permet leur standardisation et un bon contrôle de leur qualité. Quant à la rapidité d'exécution, le délai de réalisation de ces ouvrages est du même ordre que celui de remblai ordinaire et la possibilité de les construire par plots décalés ou par étapes,
- La réduction des emprises en assurant un talus vertical ayant un aspect esthétique,
- Une grande souplesse et déformabilité du parement lui permettant de supporter sans dommage des tassements différentiels même importants

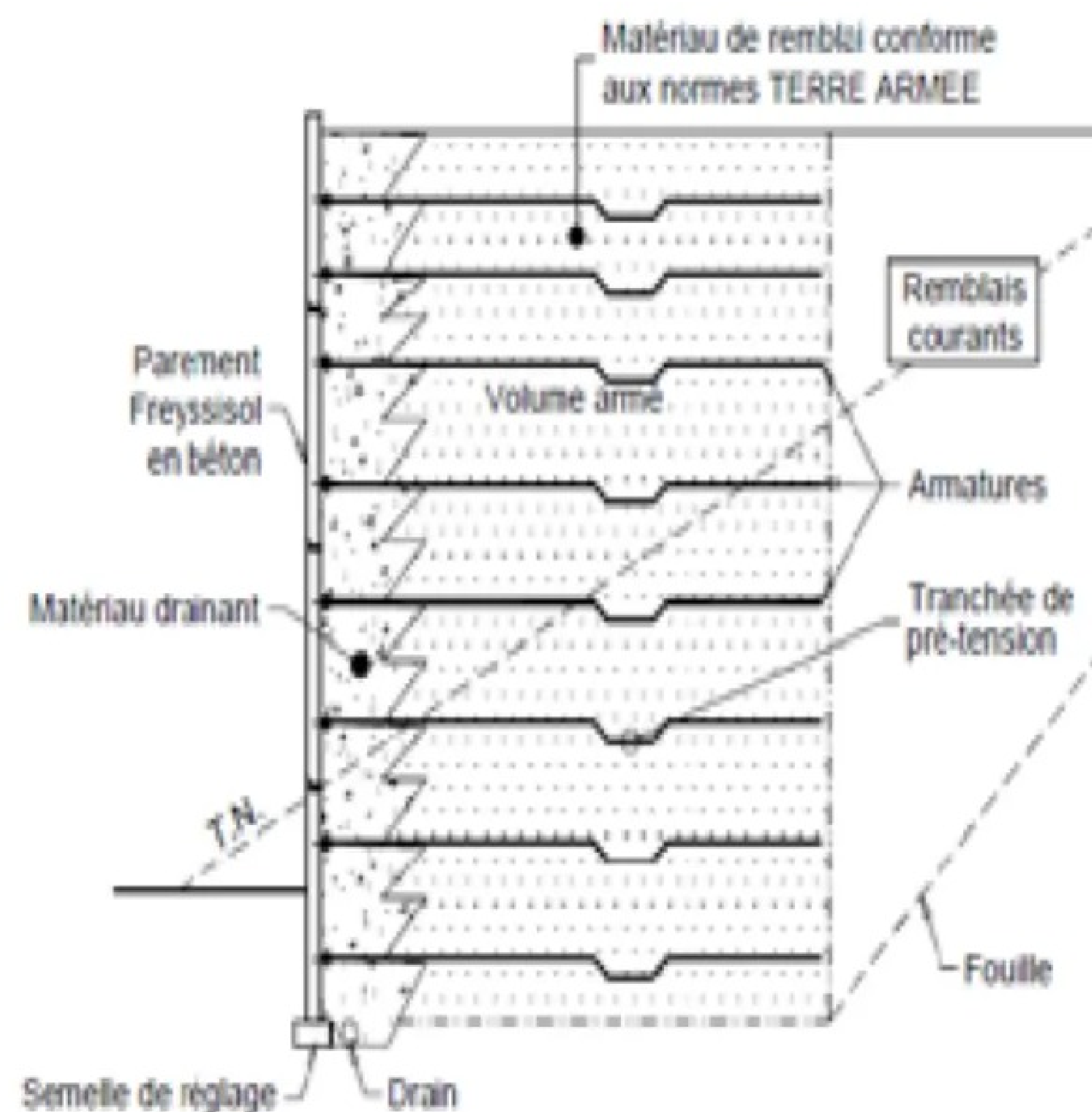


Fig 2 : Massif en terre armée







### 1.- Retrait du matériel

- Changement de la pente et bermes
- Dynamitage du contour (prédécoupés)
- Nettoyage

### 2.- Renforcement

- Ancrages (de barre et de câble)
- Boulons passifs
- Mixtes
- Murs de béton
- Béton projeté (ou gunitage), renforcée par des fibres ou d'un maillage en acier et ancrée.
- Contreforts de béton
- Membranes ancrées

### 3.- Drainage

### 1.- Retrait du matériel

- Changement de la pente et bermes
- Remplissage de matériaux légers.

### 2.- Renforcement

- Murs de béton, armé, en masse ou gravité
- murs préfabriqués
- murs de cage
- murs de pierres
- murs de pneumatiques usagés
- murs de terre armée
- murs de gabions (gravité et revêtement)
- Ancrages / pieux
- Membranes ancrées

### 3.- Drainage

### 4.- Traitements du terrain

- Chimique
- électrique
- thermique

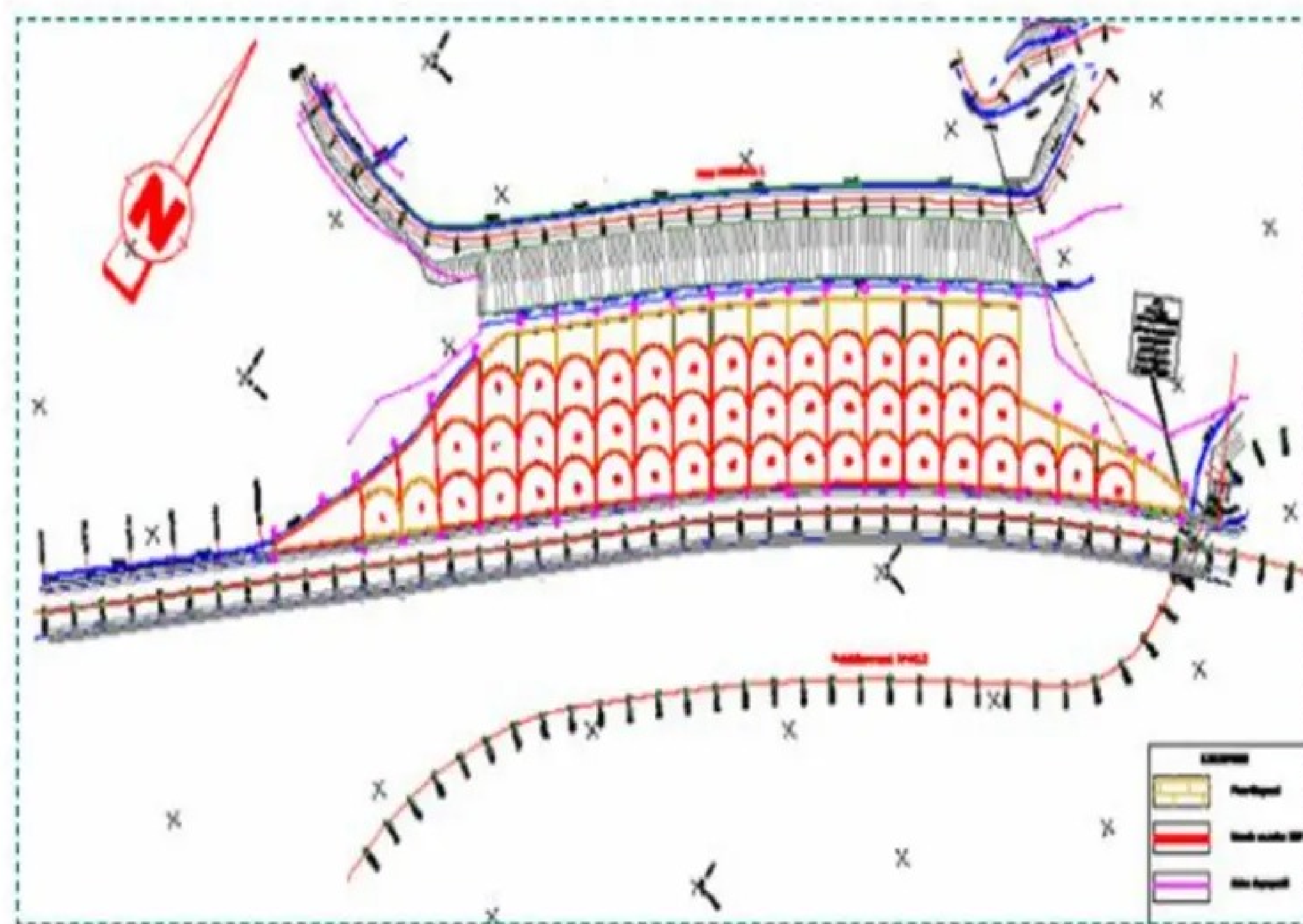
Geobrugg 2011



## S.II- Stabilité des sols

### Traitement par arcades

- Talus de grande hauteur sans risbermes
- Fortes précipitations





## S.II- Stabilité des sols

### Suggestions à base de l'expérience vécue au niveau des autoroutes du Nord



- ❖ Adoucissement des pentes des talus selon la nature des matériaux rencontrés (en phase travaux).
- ❖ Prévoir des risbermes au niveau des déblais dépassant les 10 m de hauteur.
- ❖ Eviter ou étanchéiser les masques perchés.
- ❖ Optimiser les solutions de traitement en réalisant des campagnes d'investigations complémentaires.



## S.II- Stabilité des sols

### Travaux de traitement du glissement au niveau du remblai au PK 20 sens Tanger vers Port Oued R'mel





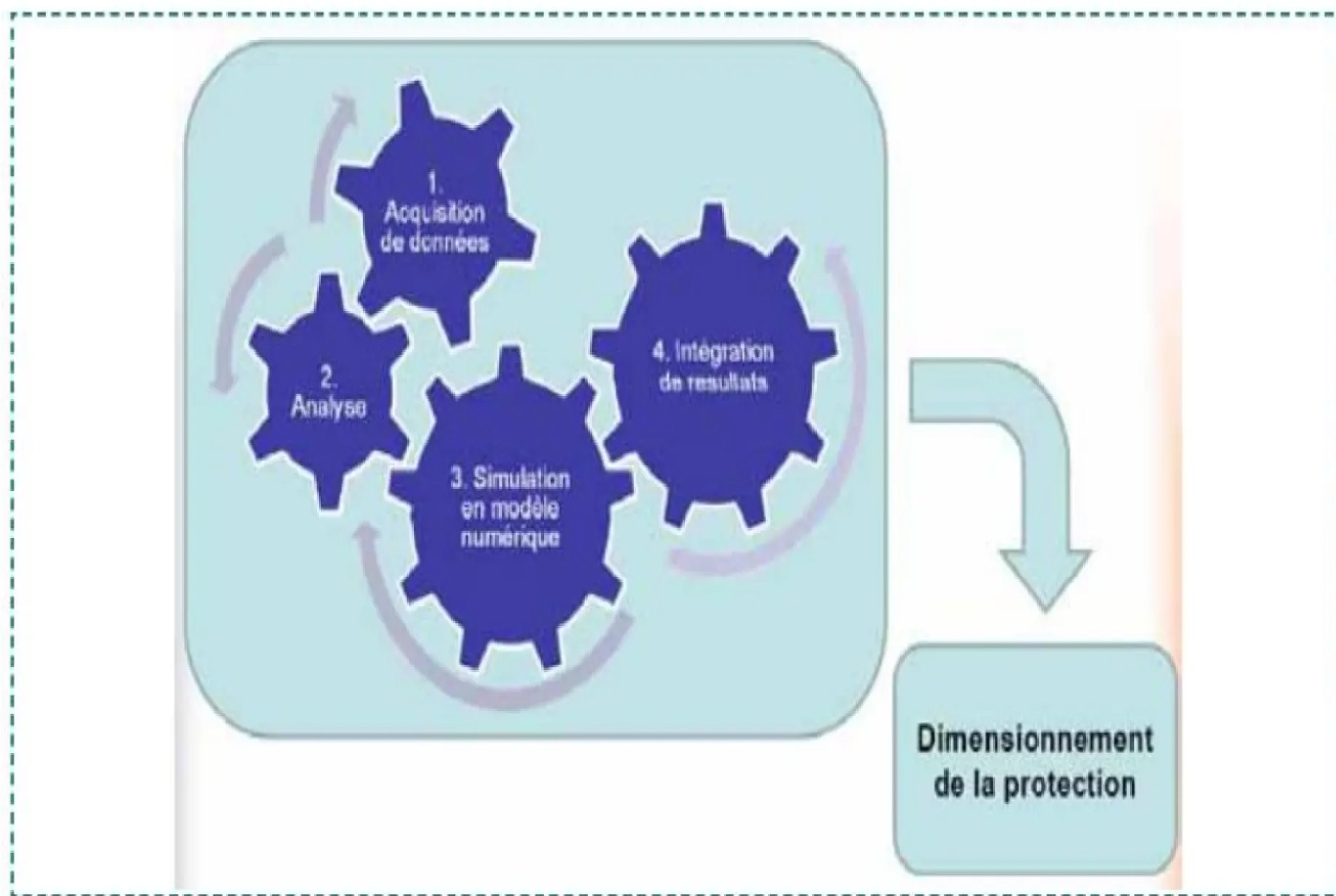
## S.II- Stabilité des sols

### ETUDE DE PROTECTION

Identification de chutes de blocs dans les versants

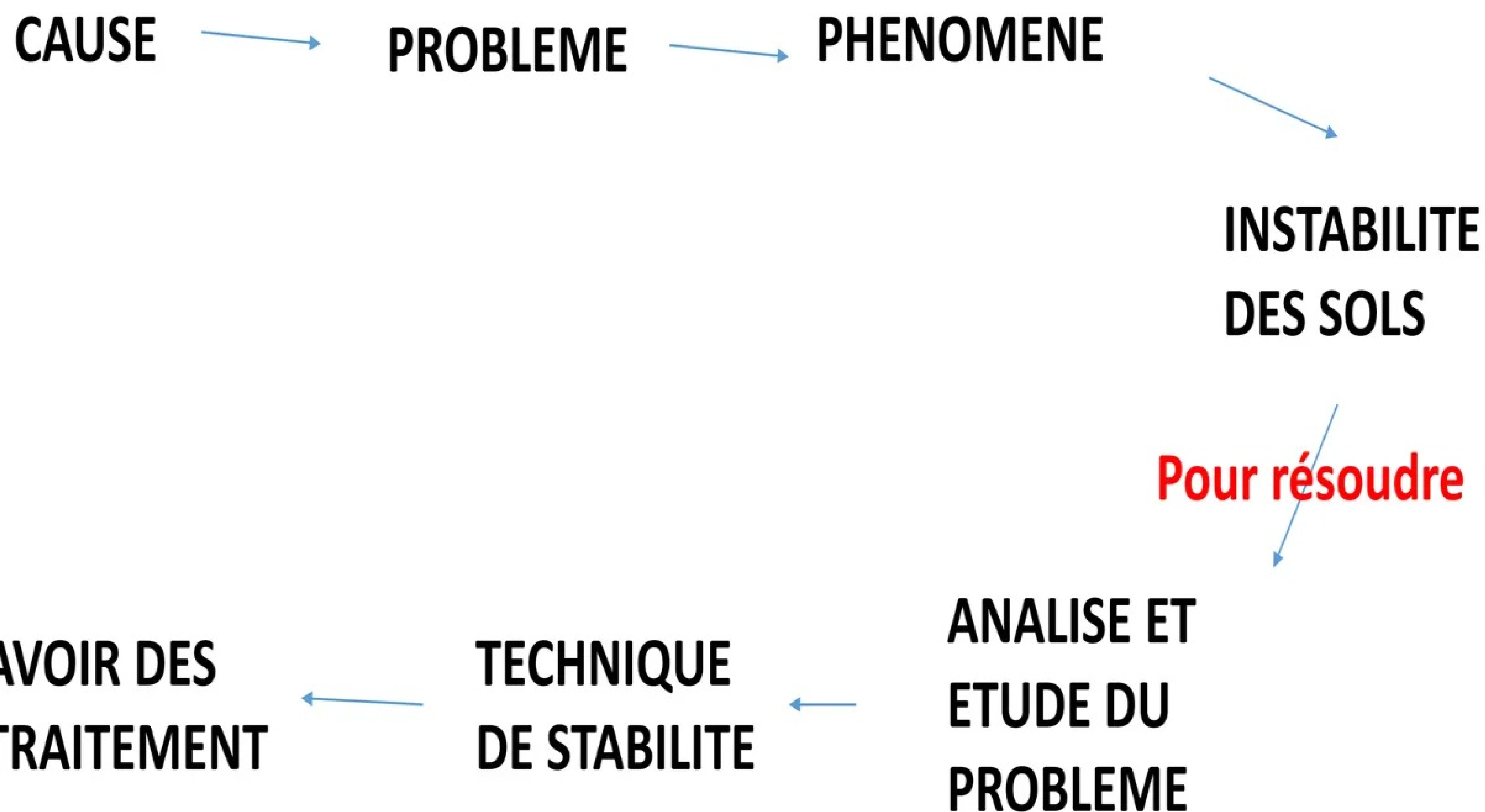


## S.II- Stabilité des sols





## S.II- Stabilité des sols



# TECHNIQUES DE CONSOLIDATION DES SOLS





## S.II- Techniques de consolidation des sols

- Pour les sols, la réponse aux sollicitations externes est lente, d'où la nécessité d'étudier sa compressibilité
- Si les contraintes et les déformations se produisent instantanément, les matériaux sont dit élastiques
- Les matériaux pour les quels la relation effort-déformation fait intervenir le temps sont dit viscoélastique,
- L'utilisation de la théorie de la viscoélasticité ne se fait que pour les matériaux qui ont un comportement linéaire. Ce qui n'est pas le cas pour les sols
- En plus, les sols sont des matériaux à mémoire, du fait que leur comportement est irréversible



## S.II- Techniques de consolidation des sols

### Le tassement

- C'est la **déformation verticales** qui résulte de la sollicitation des structures en surface
- Le mouvement peut se faire **vers le bas ou vers le haut** (excavation temporaires associées à des projets de construction, coupes permanentes dans le tracé d'une route.....)
- Le **rabattement de la nappe** peut entrainer aussi une augmentation de la contrainte effective et fini par engendré des tassement
- Dans les sols à grains fins, les tassements sont souvent en fonction du temps.





## CH. 5 CONSOLIDATION

### Compressibilité - Consolidation

- Elle est due essentiellement à l'expulsion de l'air et de l'eau contenus dans les vides (on néglige la déformation des grains et la compression de l'air et de l'eau contenu dans les vides)
- Le sol est supposé saturé
  - La compression des argiles est déterminée par la vitesse à laquelle l'eau est chassée des pores, vue leur faible perméabilité: **c'est la consolidation**
  - Elle fait intervenir les effets de la contrainte et du temps (mois, années, dizaines d'années)

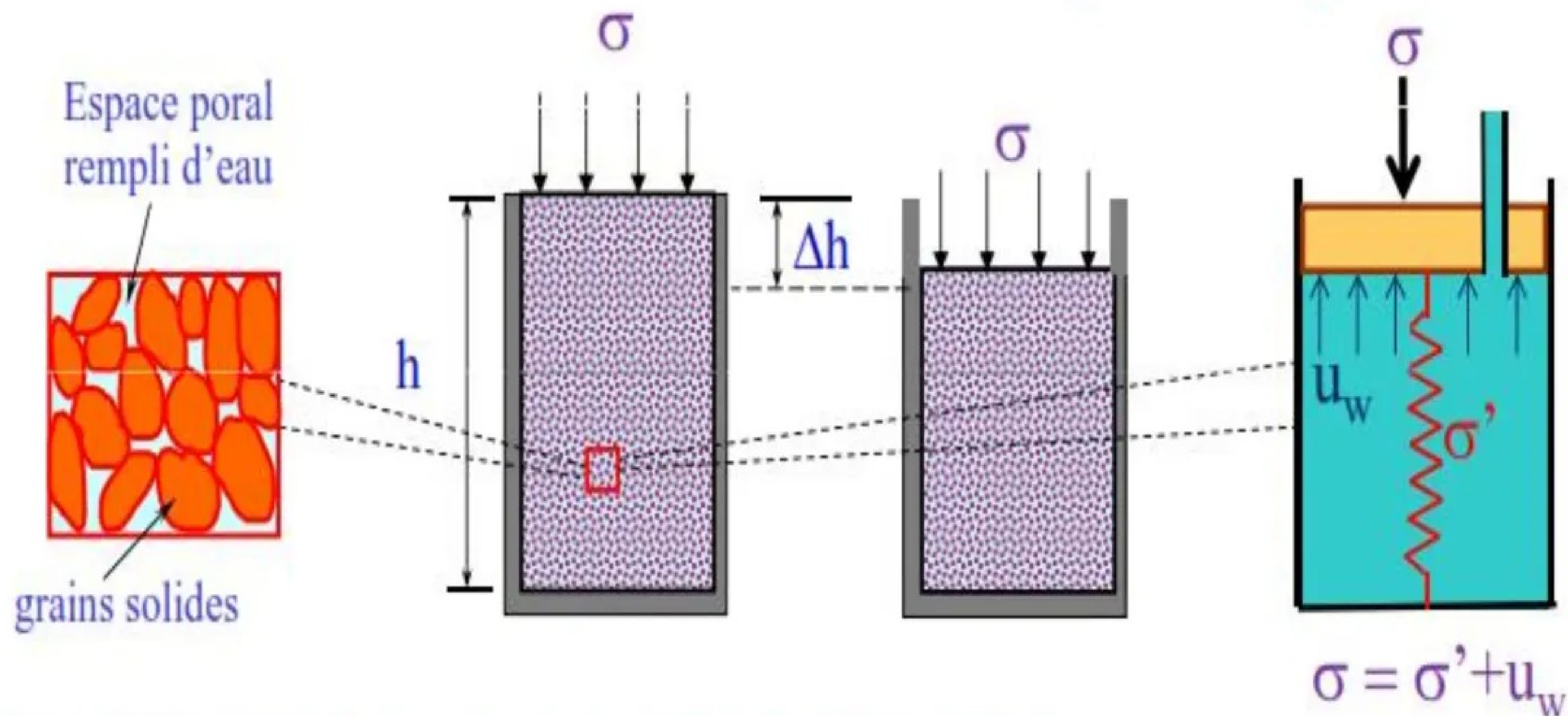
On retient donc qu'on utilise

Compression: pour les matériaux granulaires  
Consolidations pour les matériaux cohérents



## S.II- Techniques de consolidation des sols

### Consolidation des Sols (saturés)



La réduction du volume de l'échantillon de sol peut venir :

- (1) de la compressibilité des particules solides,
- (2) de la compressibilité de l'eau dans les pores
- (3) de l'expulsion de l'eau des pores
- (4) du ré-arrangement du squelette granulaire

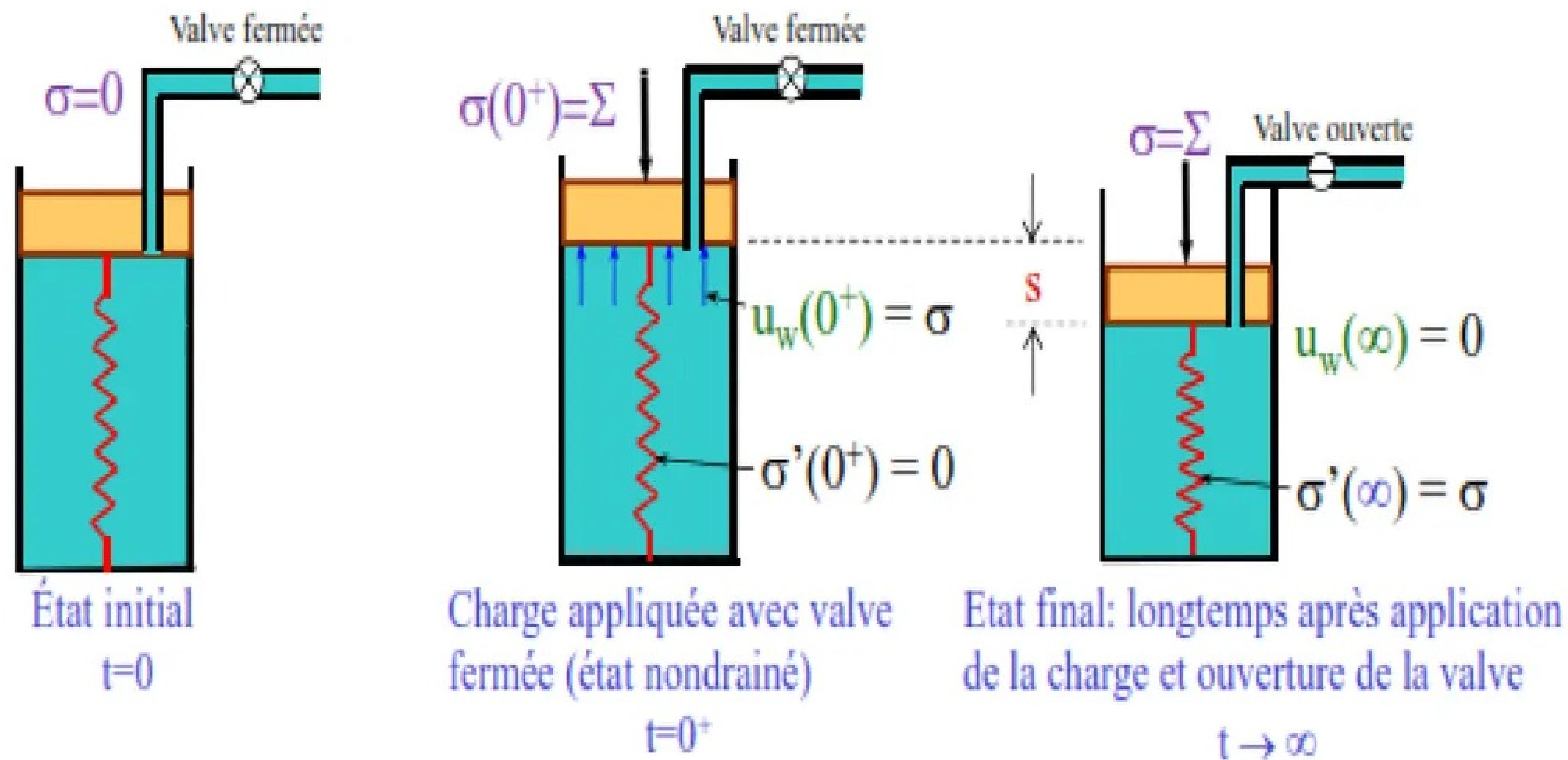
En mécanique des sols, le niveau des contraintes est faible, de sorte que (1) et (2) sont négligeables, la contraction volumique vient toujours de (3) et (4).





## S.II- Techniques de consolidation des sols

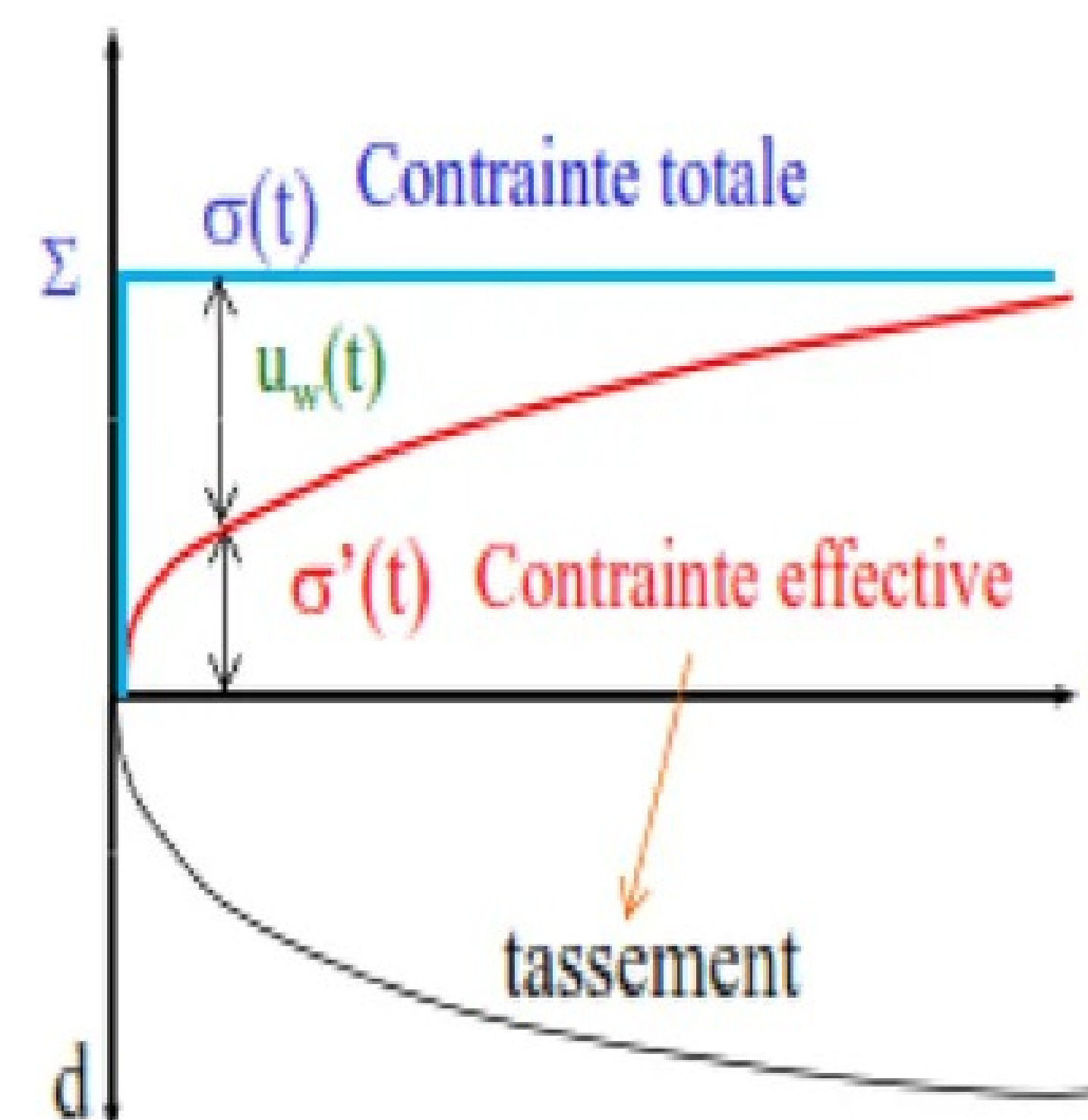
### Processus de Consolidation



#### ➤ Principe de Terzaghi

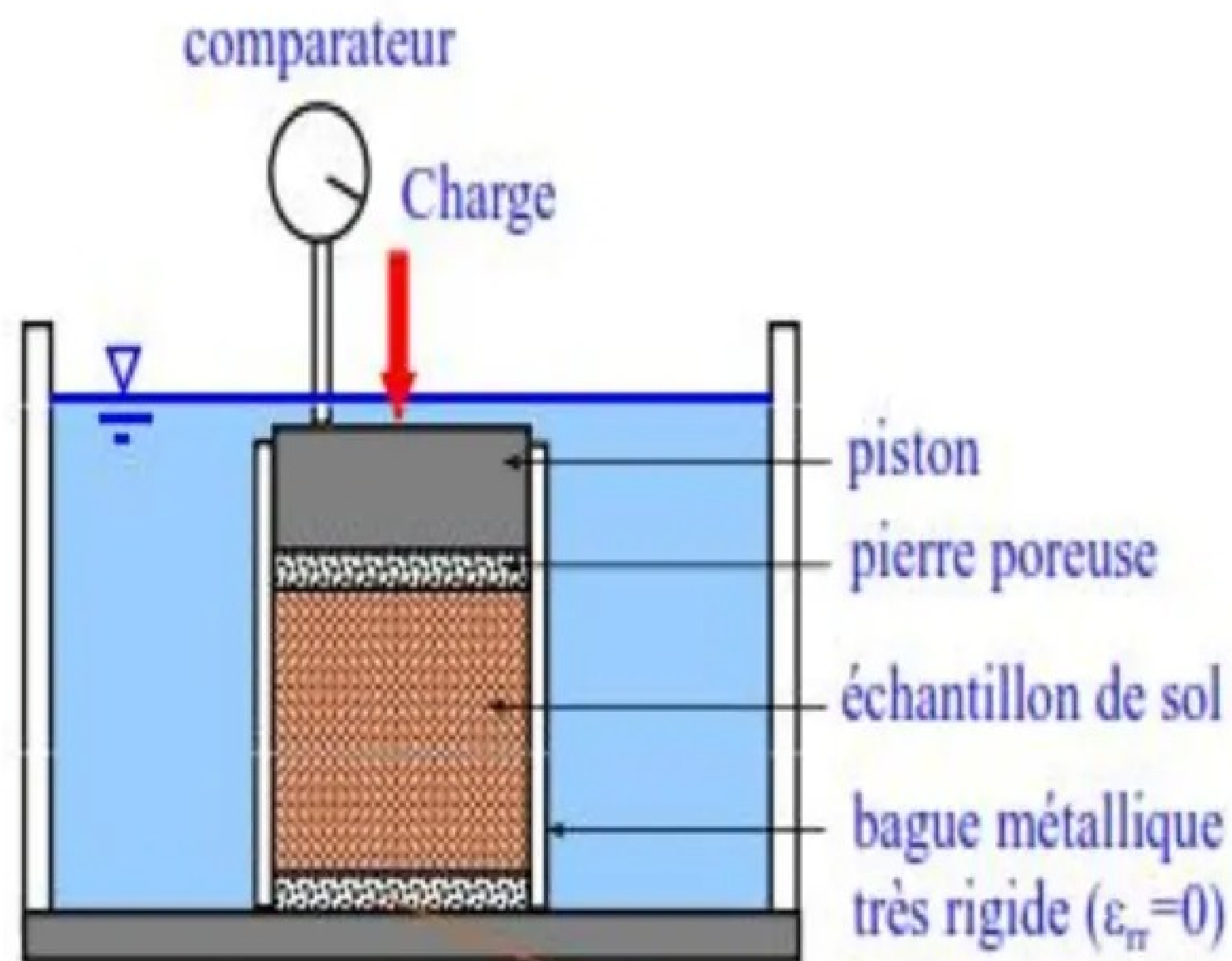
A tout instant:  $\sigma = \sigma' + u_w$

Au bout d'un temps infini, toute surpression d'eau est dissipée, la charge mécanique extérieure est intégralement portée par le squelette solide.



## CH. 5 CONSOLIDATION

### Essai oedométrique en laboratoire

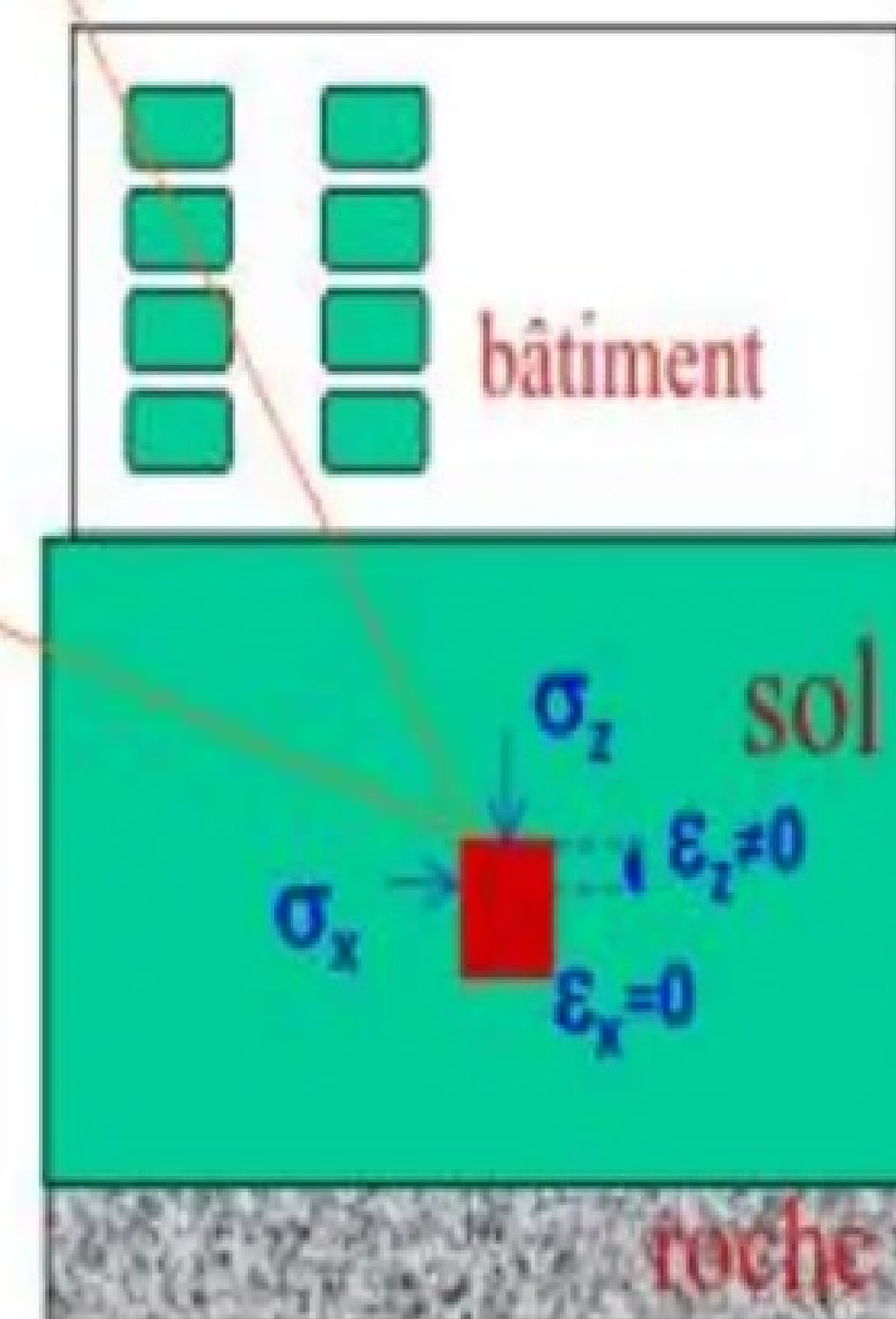


L'oedomètre



L'oedomètre est utilisé pour étudier :

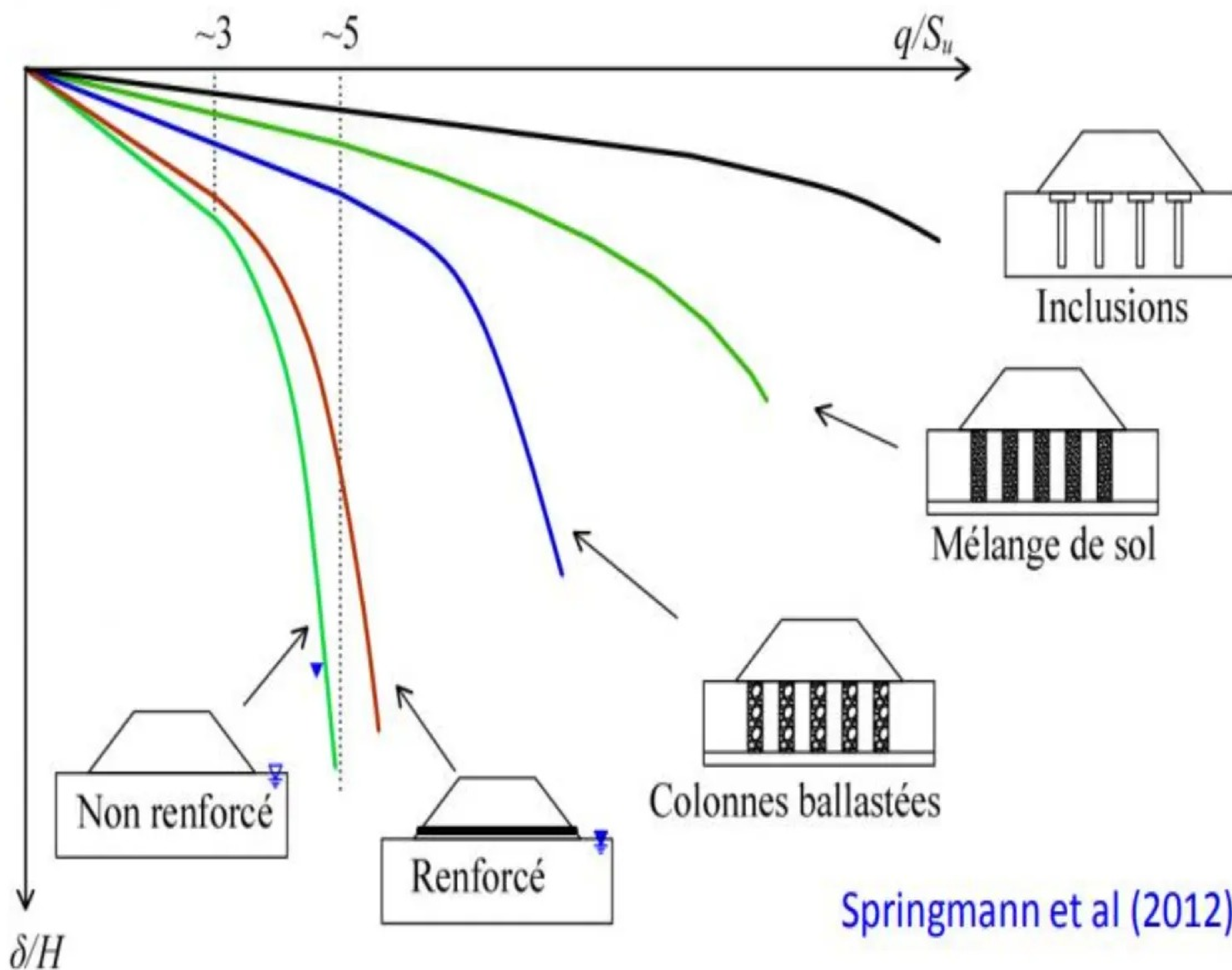
- l'évolution des déformations en fonction du temps
- la relation déformation (tassement) – contrainte effective
- le tassement des sols sous un ouvrage (sous condition  $\pm$  oedométrique)





## CH. 5 CONSOLIDATION

### Techniques de consolidation des sols

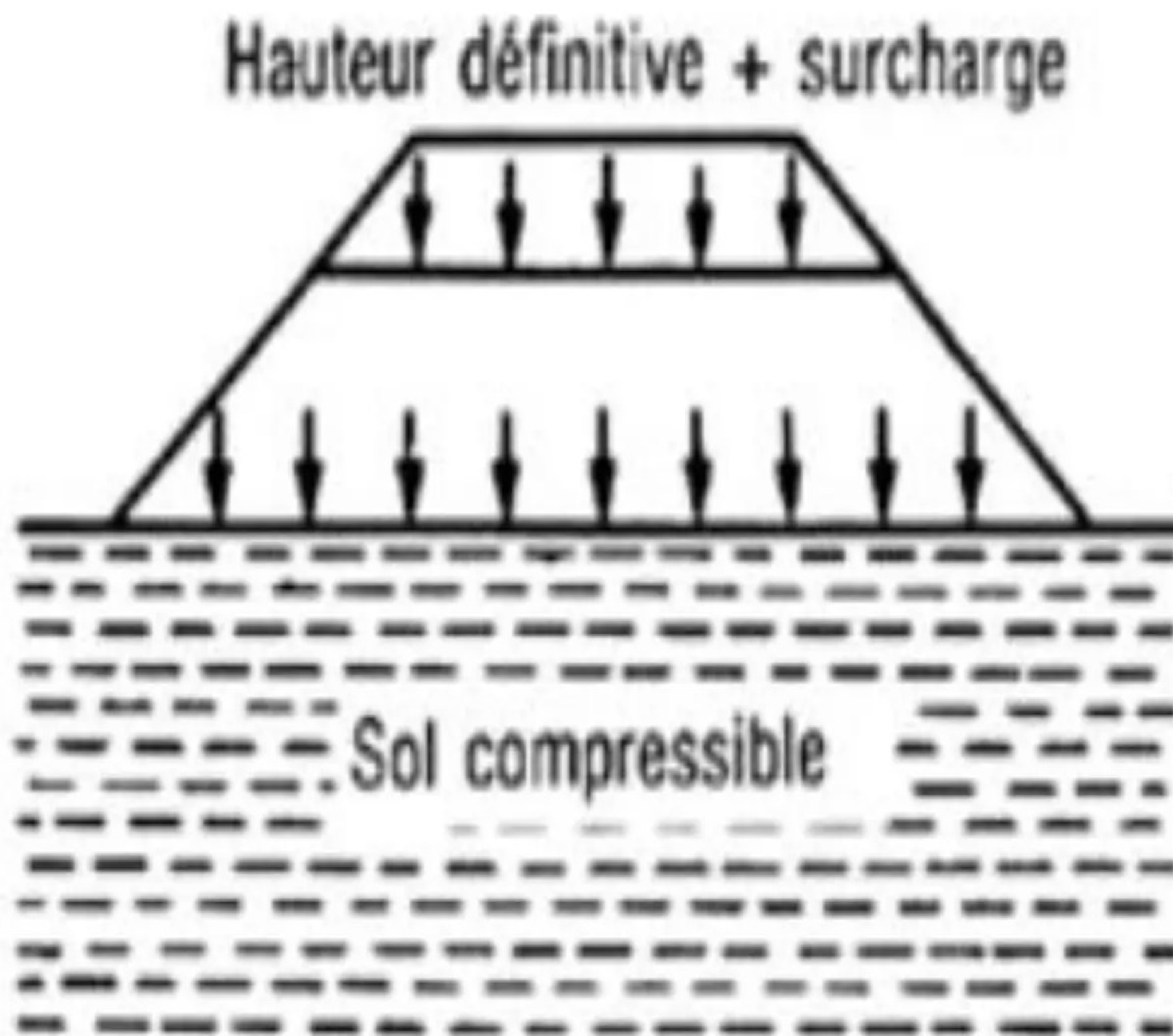


Springmann et al (2012)



## CH. 5 CONSOLIDATION

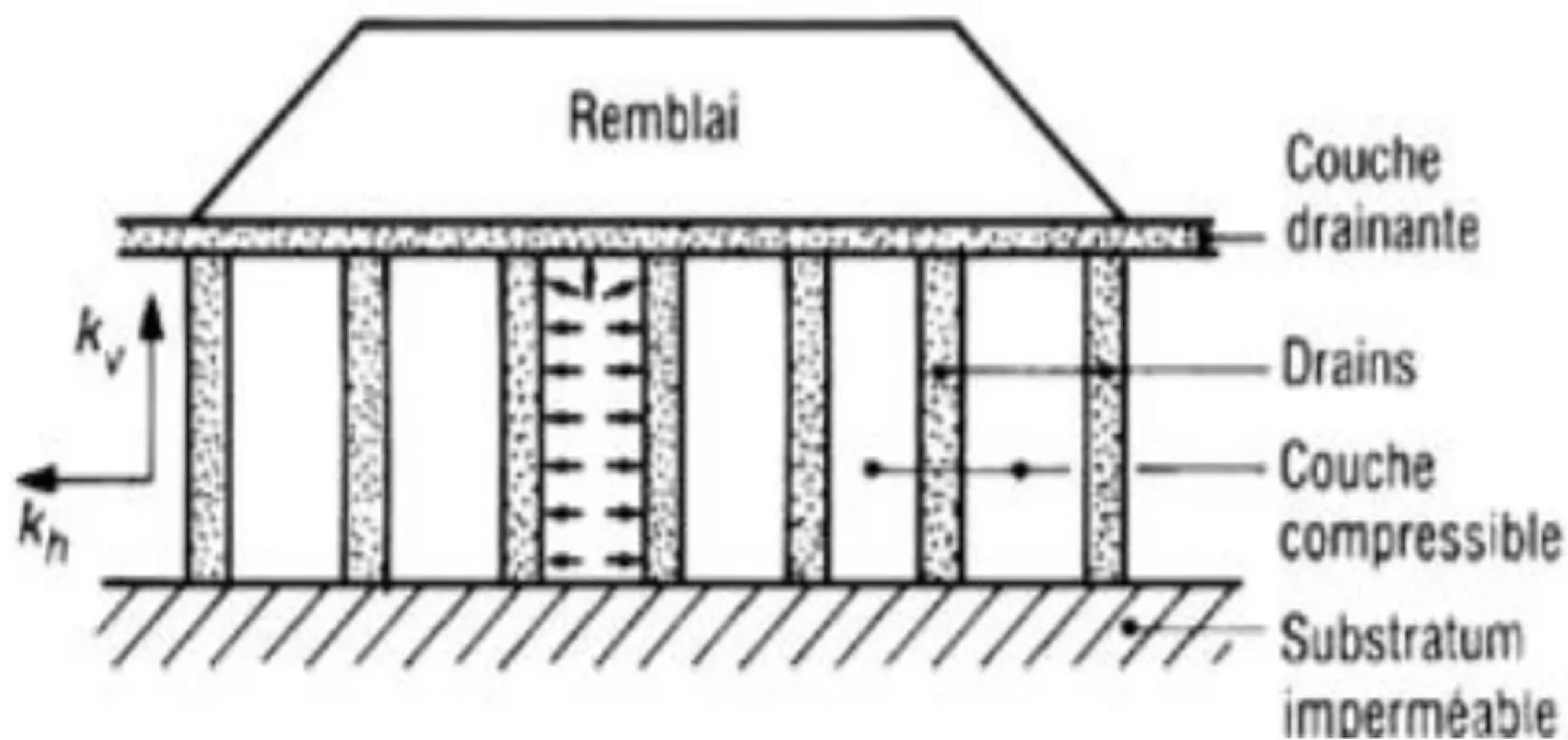
### Techniques de consolidation des sols





## CH. 5 CONSOLIDATION

### Techniques de consolidation des sols



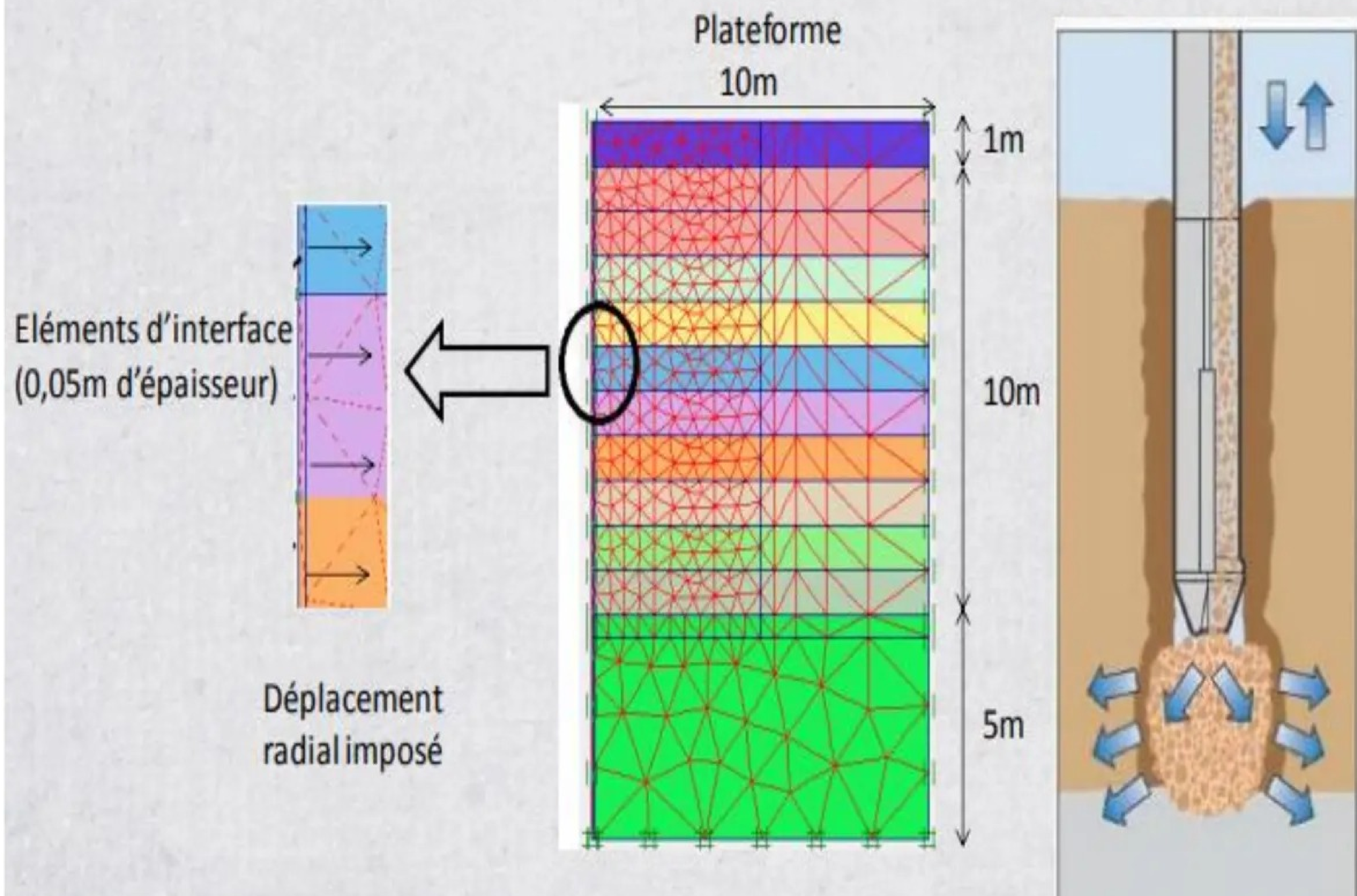
## CH. 5 CONSOLIDATION

### Techniques de consolidation des sols

#### DEEP SOIL MIXING

## MODÈLE DE L'INSTALLATION DE COLONNE BALLASTÉE

Modèle pour une inclusion isolée



0104





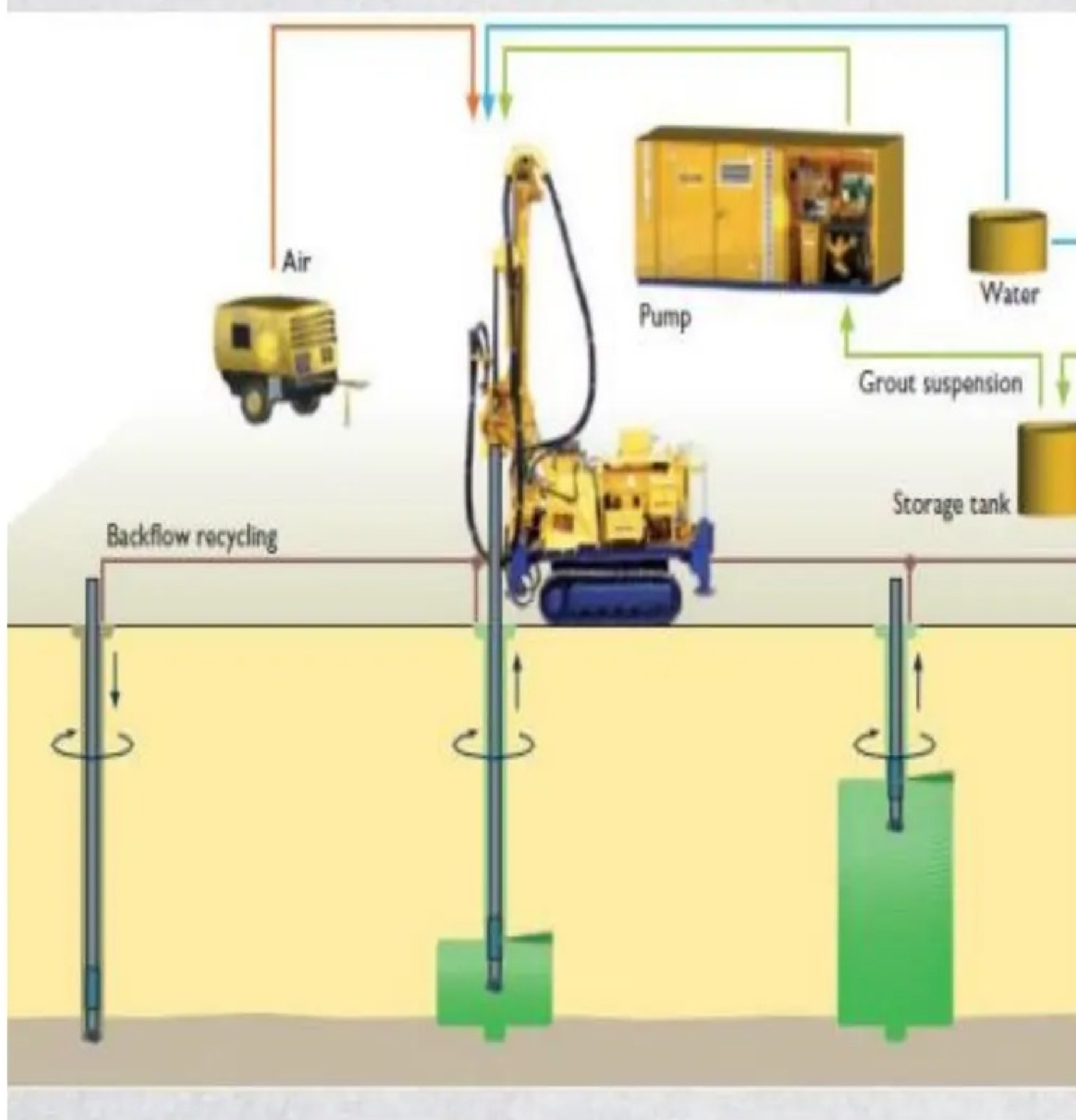
## CH. 5 CONSOLIDATION

### Techniques de consolidation des sols

#### DEEP SOIL MIXING

### DSM – MÉTHODE D'EXÉCUTION

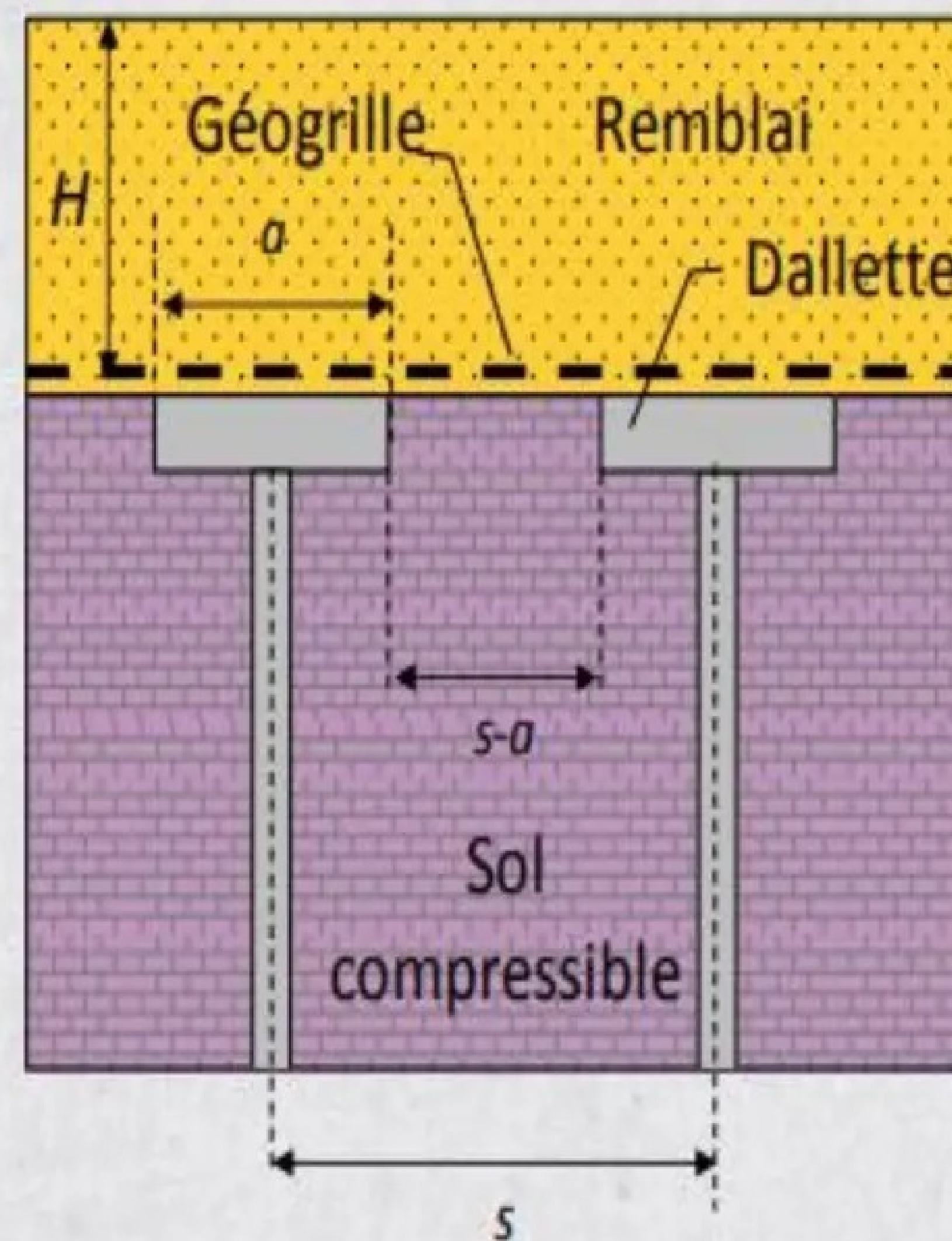
#### Méthode humide



## CH. 5 CONSOLIDATION

### Techniques de consolidation des sols

#### DISPOSITION GÉNÉRALE DES REMBLAIS SUR INCLUSIONS RIGIDES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUE



Epaisseur du remblai $H$ (m)	Entre-axe $s$ des inclusions (m)	Largeur des dalles $a$ (m)	Taux de couverture $\alpha = A_d/A$ (%)
1,0 – 9,0	1,7 – 2,8	0,5 – 1,2	6,3 – 31,9

