

Université Internationale de Casablanca



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Procédés Généraux de Construction



SABER KORAICH

Février 2019





Terrassement

Université Internationale de Casablanca



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Procédés Généraux de Construction

Terrassement



Université Internationale de Casablanca



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Procédés Généraux de Construction

Terrassement





Procédés Généraux de Construction

Définitions

Terrassement : Travaux consistant à modifier le relief naturel d'un terrain (extraction, fouille, remblaiement, déblaiement, nivelage...), permettant ainsi de réaliser ou de renforcer certains ouvrages.

Terrassements généraux : ont pour but de créer les plates formes sur lesquelles seront édifier les bâtiments et de préparer les excavations de grandes dimensions nécessaires pour les sols ; ils ne comprennent pas les terrassements propres aux bâtiments et à leurs fondations.



Procédés Généraux de Construction

Définitions

La fouille : excavation réalisée dans le sol et destinée à être remplie par le béton des *semelles de fondation ou recevoir certaines canalisations*. On distingue trois types de fouilles :

La fouille en rigole : la fouille la plus simple peu profonde $H < 1\text{m}$ et de largeur $< 2\text{m}$, destiné à recevoir des fondations ou certaine canalisation

La fouille en tranché désigne une fouille plus profonde, pas plus de 2m de largeur, on la réalise pour exécuter les égouts ou asseoir de fondations profondes..

Le Puits: une fouille qui se distingue par sa profondeur et que les déblais sont monter en moyen d'appareil de levage



Procédés Généraux de Construction

Définitions

Le nivellement : action d'aplanir le terrain.

Le décapage : fouille superficielle effectuée sur une profondeur de 20 à 30-cm.

Le talus: inclinaison donnée à la paroi d'une fouille ou à des terres en remblai.



Procédés Généraux de Construction

Définitions

Débroussaillage: est une opération qui consiste à retirer les arbres et les arbustes qui se trouvent sur le site des travaux.

Essouchement: est une opération qui permet de retirer le sol, les souches des arbres abattues

Compactage: est une opération qui consiste à compacter les remblais

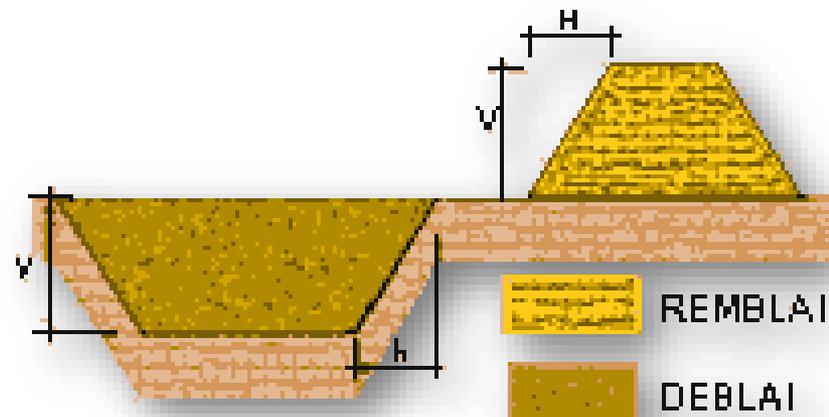
La cubature des terrassements: est une opération qui consiste à déterminer les volumes des terres (déblais et remblais) dans un projet. Autrement dit, c'est une opération qui consiste à déterminer la quantité des terres à évacuer en cas de déblais et à apporter en cas de remblais.

Procédés Généraux de Construction

Définitions

Déblai : c'est l'opération qui consiste à creuser dans le sol pour dégager de la terre, il peut se faire manuellement (pelle, pioche,..) ou à l'aide d'engin mécanique.

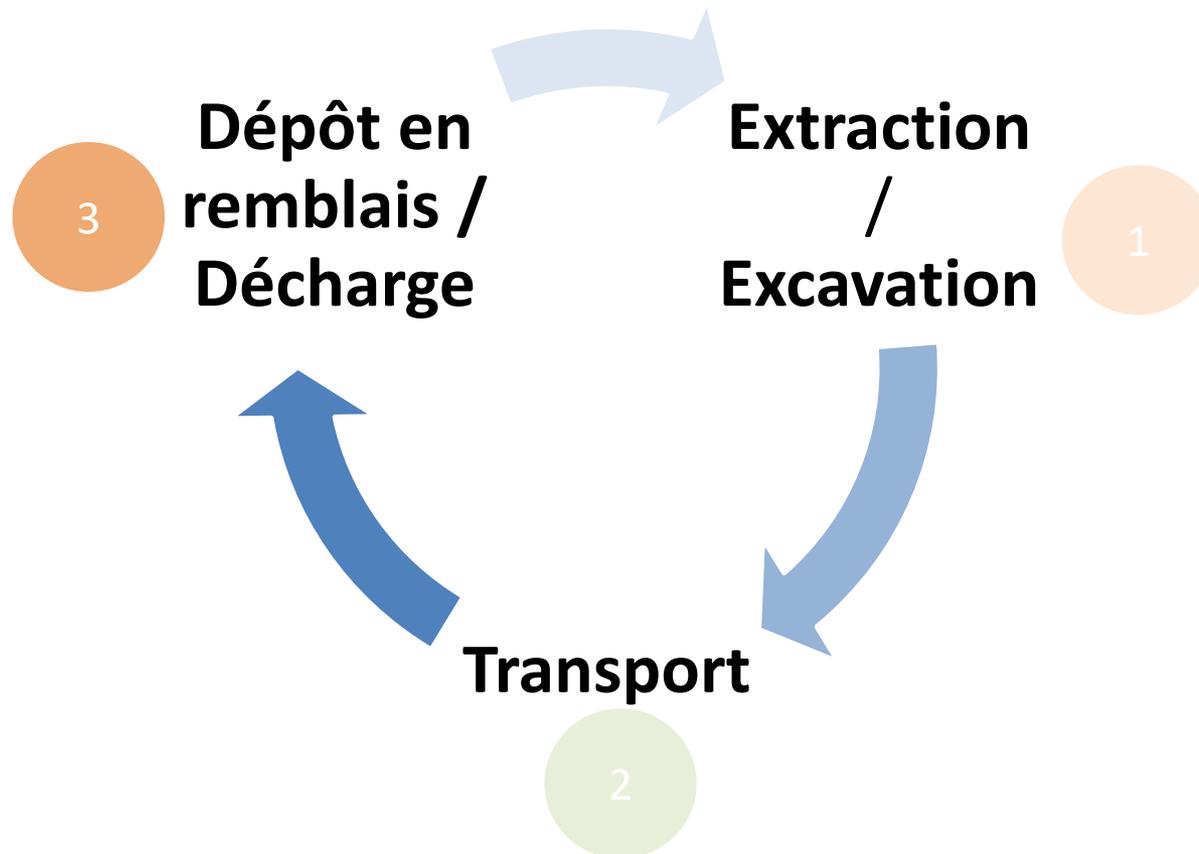
Remblai : il consiste à transporter et déposer des terres pour combler des cavités, il prend en considération le tassement et le coefficient de foisonnement du sol.





Procédés Généraux de Construction

Etapes de réalisation des travaux de Terrassement





Procédés Généraux de Construction

Etapes de réalisation des travaux de Terrassement

Le terrassement se fait en trois étapes successives:

- 1. Extraction / Excavation:** fera appel, selon le cas à trois techniques différentes :
 - En terrain meuble : les engins de terrassement
 - En terrain rocheux : Engins pneumatiques de terrassement ou/et Explosifs
 - En site nautique : Dragages et Déroctages
- 2. Transport:** fera appel a des moyens de transport selon des critères de choix et selon la complexité des travaux de terrassement
- 3. Dépôt en remblais / Décharge:** mettre les terres à la décharges pour s'en débarrasser ou disposer les remblais selon des procédés techniques pour obtenir le résultat souhaité.



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

Paramètres importants à prendre en compte lors des travaux de terrassement:

- 1. Nature de sol**
- 2. Volumes des déblais et remblais**
- 3. Production des engins de terrassement**
- 4. Distance de Transport des déblais**



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

1. Nature de sol

1.1 Classement des terrains

Au point de vue de la difficulté des terrassements, on peut classer les terrains de la façon suivante:

Nature des Terrains		Taux Admissible (bars)
Terrain compressible et humide	Vase, Marécages, tourbes, Boue	0 à 0,1
Terrain compressible cohérent et sec	Remblais, argile, terre végétale,	0 à 3,4
Terrain peu compressible, non cohérent à forte compacité	Sable Fin, grosse ou graveleux	2,2 à 6,8
Terrain peu compressible à couches massives	Roche dure granite, basalte, calcaire....	20 à 35

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

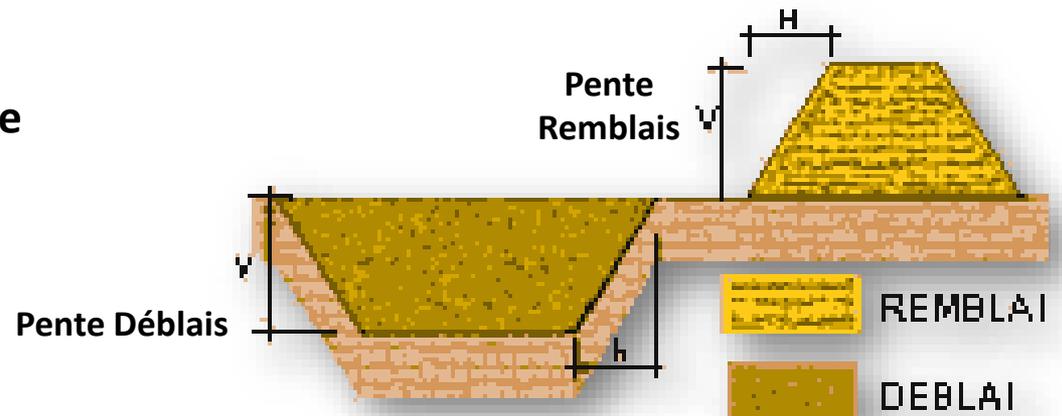
1. Nature de sol

1.2 Talus

Rappel Def: Le talus: **inclinaison** donnée à la paroi d'une fouille ou à des terres en remblai.

L'inclinaison ou la pente est défini par le rapport sans unité: **H/V**

Les pentes doivent être stables et de rapprocher le plus possible de la pente dite du « Talus naturel ».





Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

1. Nature de sol

1.2 Talus

Nature de terrain	Angle et pente de Talus	
	Angle (°)	Pente (H/V)
Roche compact	80° à 90 °	1/5
Terre argileuse	45 °	1/1
Gravier et sable	35°	3/2
Limon argileux	30°	2/1

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

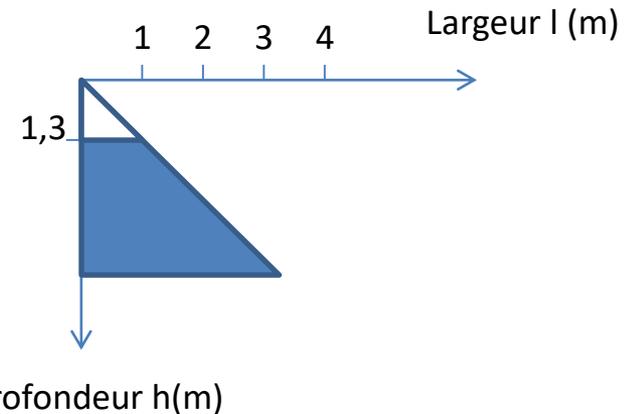
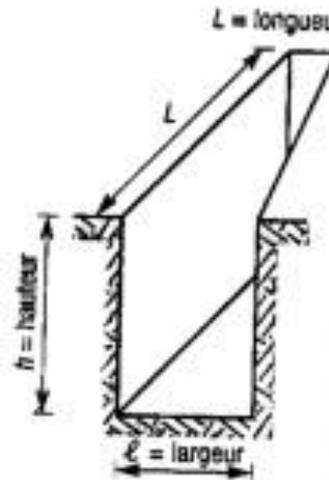
Critères de choix de procédés

1. Nature de sol

1.2 Talus

Si la fouille est profonde et étroite, les parois de la fouille doivent être blindées

Exemple : Largeur $l > 1,5$ (m)
et Profondeur $h = 3$ (m)
Blindage obligatoire



$L < \frac{2}{3} h$ blindage
obligatoire

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

1. Nature de sol

1.2 Talus

Exemple Blindage pour tranchée à pente 0 ou angle 90°



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

2. Volume Déblais & Remblais

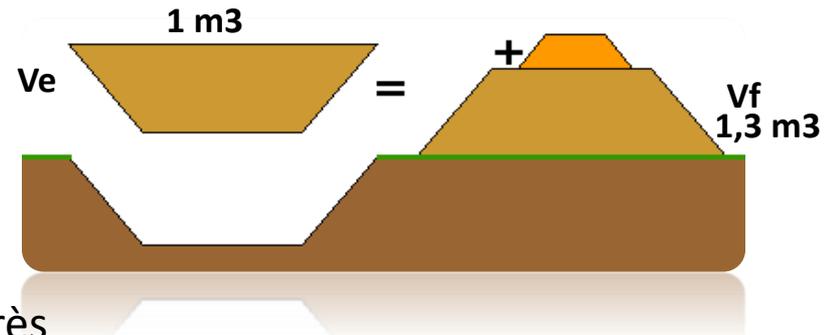
1. Foisonnement

Foisonnement : Augmentation du volume des terres provoquée par leur déplacement lors des travaux de terrassement.

Volume des déblais $V_f > V_e$ Volume excavé ou d'emprunt

Exemple :

Considérons un 1 m^3 de sol en place (V_e), après excavation son volume sera de $1,3 \text{ m}^3$ à **pois constant**



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

2. Volume Déblais & Remblais

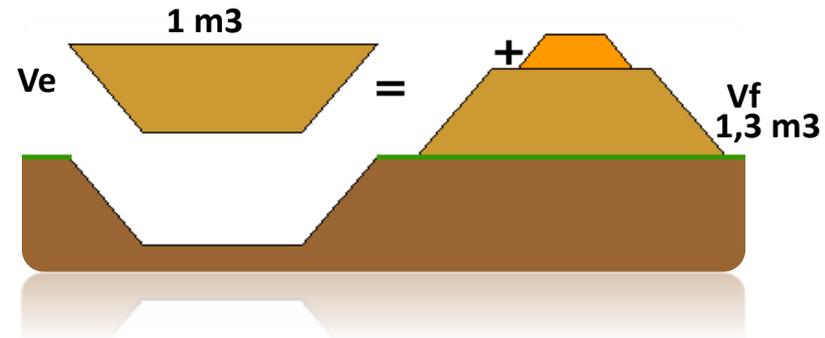
1. Foisonnement

Coefficient de Foisonnement (F_f): le coefficient de foisonnement qui est la proportion de volume supplémentaire sur le volume initial exprimé en %

$$F_f = (V_f - V_e) / V_e$$

Exemple :

$$F_f = (1,3 - 1) / 1 = 0,3 \text{ soit } F_f = 30\%$$





Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

2. Volume Déblais & Remblais

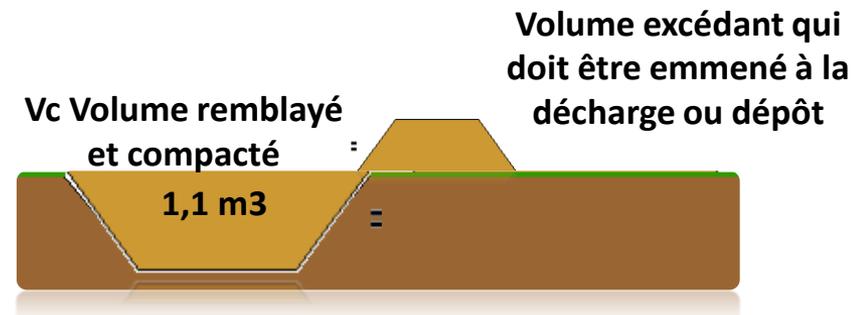
1. Foisonnement

Coefficient de Foisonnement résiduel ou contre foisonnement (F_c): est la proportion de volume **compacté** sur le volume initial exprimé en %

$$F_c = (V_c - V_e) / V_e$$

Exemple :

$$F_c = (1,1 - 1) / 1 = 0,1 \text{ soit } F_c = 10\%$$





Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

2. Volume Déblais & Remblais

1. Foisonnement

Nature de terrain	Coefficient foisonnement	
	Ff	Fc
Sable et Grave Sableuse	1,1	1
Argiles Limon, sable argileux	1,25	0,9
Sol meuble consolidé ou argiles et marnes	1,35	1,1
Sols altérés	1,30	1,15
Sols rocheux de carrières	1,40	1,20

Valeurs courantes des coefficients de foisonnement



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

Classification des engins de terrassement :

- Engins de Production.
- Engins de Transport
- Engins Et Matériels auxiliaires



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1. Engins de Production

Les engins de production sont destinés couramment à extraire et charger (rarement transporter)

On distingue plusieurs types de machines :

- Pelles hydrauliques
- Chargeuses
- Chargeuses pelleuses
- Bouteurs
- Décapeuses
- Niveleuses
- Compacteurs
- Bennes preneuses
- Hydrofraise
-

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1. Engins de Production



Pelle Hydraulique



Chargeuse



Chargeuse Pelleteuse

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1. Engins de Production



Niveleuse



Bouteur



Mini pelle

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1. Engins de Production



Décapeuse (Scraper)



Compacteur



Dragline



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1.1. Caractéristiques Principales engins de Production

a. Mode de roulement :

- **Engins sur chenilles (relativement lent)**: Comportement excellent sur les sol de faible portance ou accidentés.
- Engins sur roues: Plus rapides, mais nécessitent des pistes en bon état.

b. **Capacité de production** : dépend notamment du volume de godet, benne.

c. **Vitesse de Déplacement** : dépend de la puissance de la machine, ainsi que de la nature du terrain (portance du sol, pente type de roulement)

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1.2. Exemple : Pelle Hydraulique



Une pelle hydraulique est un engin automoteur à roues ou à chenilles dont :

- Le châssis structure portante est fixe durant le cycle de travail
- La structure supérieur peut effectuer une rotation de 360° , creuser, soulever et décharger les matériaux à l'aide d'un godet ou un Brise Roche Hydraulique (BRH) monté sur l'ensemble flèche et bras.
- Une pelle peut être équipé en Rétro ou en butte.



Pelle équipée en butte

Procédés Généraux de Construction

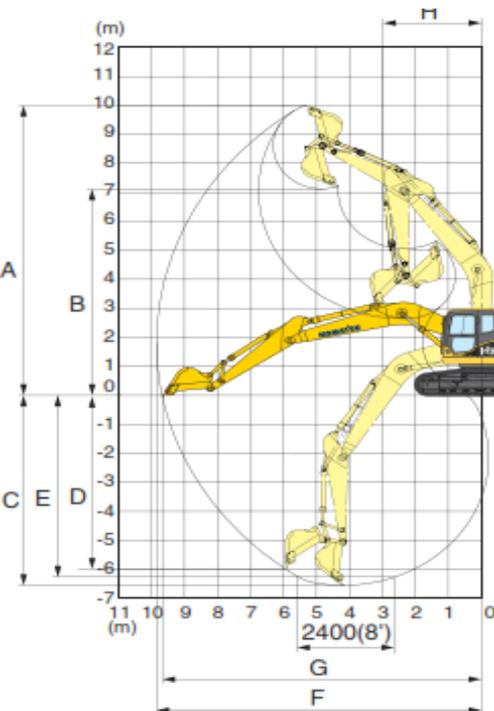
Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1.2. Exemple : Pelle Hydraulique

Critères de choix



- **La zone de fouille potentielle**: elle est généralement caractérisée par un abaque constructeur.
- **La capacité nominale** : la charge maximale pour la portée minimale.
- **Charge de basculement**
- **Effort d'arrachement.**

Exemple de Diagramme d'excavation possible d'une pelle hydraulique

Source: KOMATSU Modèle HB215 LC



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1.2. Exemple : Pelle Hydraulique

Critères de choix



CAPACITÉ ET POIDS DE GODET MAX.

Longueur balancier	2,9 m	
Poids du matériau jusqu'à 1,2 t/m ³	1,36 m ³	1.075 kg
Poids du matériau jusqu'à 1,5 t/m ³	1,17 m ³	950 kg
Poids du matériau jusqu'à 1,8 t/m ³	1,02 m ³	875 kg

Source: KOMATSU Modèle HB215 LC



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

1.2. Exemple : Pelle Hydraulique

Critères de choix



Engins	Vitesses
Pneus	30/35 km/h
Chenilles	2 à 4 km /h

Mode de roulement et vitesse pour les pelles
Hydraulique



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

2. Engins de Transport

Les engins de transport : Déplacent les déblais et vers le lieu de remblaiement, ou placent en dépôt ceux qui ne seront pas réutilisés.

On distingue principalement:

- Camions à benne routiers
- Tombereaux articulés ou de chantier (rigides)
- Décapeuses
- Moto Basculeur de chantier

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

2. Engins de Transport



Camion à benne



Décapeuse (Scraper)



Tombereau Articulé



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

2. Engins de Transport

Camion à benne : Camion à gabarit routier, équipés des bennes pour permettre le transport des matériaux.

Charge Utile (CU): Charge maximale placée dans la benne et qui peut être transportée.

$$CU = PTAC - PV$$

PTAC: Poids Total autorisé en charge

PV: Poids à vide

Charges Utiles courantes:

PTAC= 26 T à 38T avec une CU= 17T à 28 T

Capacité des bennes courantes : 10 à 20 m³.

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

2. Engins de Transport

Tombereaux: Leur avantage demeure dans la robustesse et la capacité de charge élevée.

Ces machines présentent l'avantage d'offrir d'excellentes prestations en tout terrain, notamment dans la boue. Dès lors, il n'est pas nécessaire pour les utiliser, de lancer des opérations de préparations du terrain (nivelage, pose de tout venant, compactage, etc.).

Deux types sur le marché : **Articulé et Rigides**

CU : 11T à **363 T**
Vitesse : 50 à 60 km/h



Tombereau Type
Rigide

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

2. Engins de Transport

Décapeuse : La décapeuse appelée aussi *scraper* est généralement utilisée pour l'arasement des sols. Cet engin possède une benne avec tiroir éjecteur pouvant se surbaïsser et qui, par l'effet du déplacement de la machine, permet d'extraire les matériaux. Ceux-ci seront ensuite transportés sur le lieu de déchargement pour finalement y être répandus en couches.

Moto Basculeur (Dumper) : Possède une benne ouverte destinée à transporter, déverser latéralement ou par l'avant.

Sa maniabilité et sa taille présentent un grand avantage dans les chantiers encombrés .

Les performances moyennes :

Vitesse de déplacement : 15 à 25 km/h

CU: 1 à 6 T



Dumper

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

3. Engins Et Matériels auxiliaires

Compacteurs : ils servent à tasser le sol support ou toute autre couche d'une voie carrossable.

Les procédés utilisés pour le compactage sont, par:

- Vibration
- Roulage
- Pilonnage



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

3. Engins Et Matériels auxiliaires

Il existe une panoplie de type de compacteurs adaptés à des travaux de compaction déterminés. Le plus courant pour les travaux de construction routière est le compacteur à rouleaux lisses et vibrants. La vibration pouvant être activée ou désactivée par l'opérateur.

Sol sans cohésion: Le réarrangement des grains est favorisé par les **vibrations**.



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

3. Engins Et Matériels auxiliaires

Pour les autres sols, on utilise :

Le roulage: une charge lourde, non vibrante, se déplace en exerçant une forte pression par l'intermédiaire d'un **Cylindre** ou par action de **ses pneus**



à Pneus



Pieds dameurs



Compacteur manuel

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

3. Evaluation de la Production des engins

3. Engins Et Matériels auxiliaires

Le pilonnage: une masse tombe d'une certaine hauteur et transmet par des chocs successifs.



Plaque vibrante



Pilonneuse



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

Le dimensionnement des engins de production et de transport se base sur:

1. **Notion de cycle d'un engin**
2. **Coefficients d'efficience**



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.1 Notion de Cycle d'un engin

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

La durée moyenne d'un cycle de transport dépend des performances de l'engin mais aussi des paramètres suivants:

1. Type des matériaux
2. Habilité et expérience des opérateurs
3. Conditions météorologiques
4. Durée des arrêts (maintenance, avaries ...)



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.1 Notion de Cycle d'un engin

Décomposition en durée élémentaires :

1. Le temps de chargement / Production
2. La durée de transport Aller
3. Le temps de vidage ou déchargement
4. Le temps de retour
5. Les attentes et les manœuvres

Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

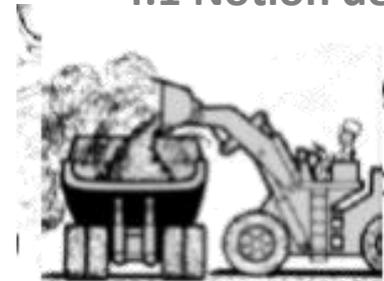
4.1 Notion de Cycle d'un engin



Retour à vide



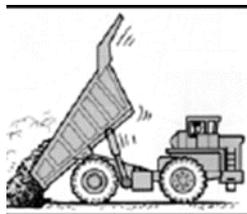
Chargement



Attentes /
Manœuvres



Transport
Aller (en charge)



Déchargement





Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.2 Coefficient d'efficience

Le coefficient d'efficience (**k**) permet de déterminer la production réelle (**Pr**) d'un engin, en tenant en compte de:

1. La Production théorique (**Pth**) de l'engin
2. Paramètres liés aux conditions de chantier ou de l'état de maintenance de l'engin

La production théorique est donné par le constructeur.

On a a alors :

$$Pr = K \times Pth \text{ avec } k < 100\%$$



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4.Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.2 Coefficient d'efficience

Exemple :

Pour une heure de travail de production sur chantier un engin travaillera effectivement 45 min (Attente chargement, conditions météo ..)

Son efficience (K) atteindra : $45/60 = 75 \%$.

Efficience Horaire	Médiocre	Moyenne	Normale	Bonne	Très bonne	Théorique
K (%)	0,58	0,66	0,75	0,83	0,92	1
Travail effectif	35	40	45	50	55	60



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.2 Coefficient d'efficience

Conditions	Description	Efficience k%
Faciles	Matériaux : Terre non compact Profondeur < 40% profondeur max Vidage sur déblais, camion en fond de fouille sans obstacles	95 à 100
Moyennes	Matériaux : Terre compact < 25% de roches Profondeur < 50% profondeur max Vidage sur zone large avec quelques obstacles	83
Moyennes à difficiles	Matériaux : Terre très compact avec env 50% de roches Profondeur < 70% profondeur max Vidage sur camions proches au même niveau que l'excavateur	75
Difficiles	Matériaux : Terre très compact avec env 75% de roche Profondeur < 90% profondeur max Vidage sur petite zone, travail en tranchée	65
Très difficiles	Matériaux : Terrains gelés Profondeur > 90% profondeur max Vidage sur très petite zone, travail avec obstacles ou ouvriers.	55

Tab. Coefficient d'efficience pour une pelle



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.3 Etapes de dimensionnement

1. Production horaire minimale de l'engin : P_m (m³/h)

Il est calculé à partir du délai accordé et le volume d'emprunt V_e (m³).

Exemple :

Pour un chantier de 10 jours de délais il faut terrasser 5000 m³.

La Production minimale P_m est :

$$P_m = 5000 / (10 * 8) = 62,5 \text{ m}^3/\text{h}$$



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.3 Etapes de dimensionnement

2. Capacité utile de l'engin de production (Godet) : C_{up} Ou Capacité utile pour les engins de transport: C_{ut}

Pour les engins de terrassement, le C_{u} est défini comme suit :

$$C_{up} = \text{Capacité nominale} \times R$$

Capacité nominale de Godet : donné par le fabricant.

Coefficient R : facteur de remplissage du godet exprimé en (%), ce facteur dépend de conditions du sol (masse volumique et coefficient de foisonnement)

	Nature de Sol	R (%)
Facteur de remplissage R du godet, exp pelle hydraulique	Terrains légers	100
	Terrains lourds	95
	Débris Rocheux	85
	Blocs de Roche	70



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.3 Etapes de dimensionnement

3. Le nombre de cycle de production par heures : N_{cp}

$$N_{cp} = K_{cp} \times 60 / T_{cp}$$

K_{cp} : le coefficient d'efficience

T_{cp} : Temps de cycle de production.



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.3 Etapes de dimensionnement

Exemples Pratiques



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

4.3 Etapes de dimensionnement

Exemple 1:

Données projet : Projet de terrassement en masse.

1. Moyen disponible : Pelle hydraulique avec godet retro de capacité nominale de: 3,5 m³.
2. Camion : Capacité nominal de transport $C_{ut}=18\text{m}^3$
3. Condition de travail Normale.
4. Facteur de remplissage de godet est de : 0,85
5. Cycle moyenne de chargement : 30 s (donné constructeur)

On vous demande de calculer la production horaire réelle sur le chantier **Pr (Cycle de chargement) ?**



Procédés Généraux de Construction

Procédés des Travaux de Terrassement

Critères de choix de procédés

Réponse :

1. Calcul de la capacité utile de godet : C_{up}

$$C_{up} = 3,5 \text{ m}^3 \times 0,85 = 2,975 \text{ m}^3$$

2. Calcul du nombre des cycles de chargement :

$$C_{ut}/C_{up}$$

$$\text{Soit } 18\text{m}^3 / 2,975 \text{ m}^3 = 6,05 \text{ (6 manœuvres de godet)}$$

3. Calcul du temps du cycle de chargement d'un camion (production) T_{cp} :

$$T_{cp} = 30 \times 6 = 180 \text{ s soit } 3 \text{ min}$$

4. Nombre de cycle de production par heure:

$$N_{cp} = 60 * K_{cp} / T_{cp} = 60 * 0,75 / 3 = 15$$

Soit 15 camions à charger / heure

5. Production horaire moyenne sur chantier :

$$Pr = 15 * 18 = 270 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. Dimensionnement d'un atelier de Terrassement

Université Internationale de Casablanca



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Procédés Généraux de Construction

