

TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Sources :

Chantiers de bâtiment – Préparation et suivi (Editions Nathan)

Précis de Chantier – Précis de Bâtiment (Editions nathan)

La fabrication du bâtiment (Editions Eyrolles)

SOMMAIRE

- I) GENERALITES
 - 1) Le mouvement des terres
 - 2) Les fouilles
 - 3) Le compactage

- II) LES CARACTERISTIQUES DES SOLS
 - 1) Nature des terrains
 - 2) Foisonnement et tassement des sols

- III) TERRASSEMENT DES BATIMENTS
 - 1) Le plan de terrassement
 - 2) Réalisation des parois périphériques enterrées

- IV) TERRASSEMENT DES ROUTES
 - 1) Vue en plan
 - 2) Profil en long
 - 3) Profil en travers

- V) MOUVEMENTS DES TERRES
 - 1) Calcul des surfaces
 - 2) Calcul des cubatures
 - 3) Bilan

- VI) LES ENGINS DE TERRASSEMENT
 - 1) Les engins de production
 - 2) Les engins de transport

- VII)ATELIER DE TERRASSEMENT
 - 1) Coefficient d'efficience
 - 2) Facteur de chargement d'un godet
 - 3) Durée de cycle des engins
 - 4) Méthodologie pour le choix des engins

- VIII) APPLICATIONS

I) GENERALITES

Les travaux de terrassement comprennent :

- Les travaux préparatoires
- L'extraction du sol
- Le transport des matériaux extraits
- L'évacuation des déblais ou la constitution de remblais

1) Les fouilles

On distingue :

- Le décapage : fouille de faible profondeur ($h < 30$ cm) sur l'emplacement de la future construction. Le décapage a pour objectif d'enlever la terre végétale
- Les fouilles en pleine masse également appelées fouilles en excavation :

DESIGNATION	DIMENSIONS
Fouille en rigole	$L < 2$ m et $h < 1$ m
Fouille en tranchée	$L < 2$ m et $h > 1$ m
Fouille en trou	$L < 2$ m ; $l < 2$ m et $h < 1$ m
Fouille en puits	$L < 2$ m ; $l < 2$ m et $h > 1$ m

Selon leur importance les fouilles sont réalisées manuellement ou à l'aide d'engins mécaniques.

Les fonds de fouilles doivent être dressés horizontalement ; On peut être amené à prévoir une pente de 2 à 5 % pour l'évacuation des eaux de ruissellement.

Les talus sont des surfaces réglées et inclinées limitant latéralement un déblai ou un remblai. Ils doivent être stables et se rapprocher le plus possible de la pente de talus naturel.

Une fois la fouille terminée il faut la protéger soit par le bétonnage des fondations, soit par un film plastique.

2) Le compactage

C'est l'opération qui consiste à tasser un sol par un moyen mécanique comme le rouleau ou la dame. Le tassement se fait par resserrement des particules solides du sol et réduction des vides.

II) LES CARACTERISTIQUES DES SOLS

1) Nature des terrains

Les travaux de terrassement dépendent directement de la nature des sols.

Ils existent différentes classifications des sols :

- Classification du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)
- Norme NF P 11- 300

Ils existent différents paramètres de classification des sols :

- La granularité : Caractérisée par la dimension D du plus gros granulat :

D (mm)	20	2	0,2	0,02	0,002
Désignation	graviers	sables	Sables fins	limons	argiles

- Le comportement mécanique : résistance au cisaillement par exemple
- Les caractéristiques physiques : teneur en eau ; limites d'Atterberg ...

Les terrassiers distinguent trois types de sols :

Terrains meubles	Attaquable par une chargeuse ou une pelle hydraulique
Terrains rocheux défonçables	Attaquable par un chargeur après défonçage du roc au BRH (Brise Roche Hydraulique)
Roc	Nécessite un dynamitage

2) Foisonnement des sols

- Le sol en place occupe un volume V_0 avec une masse volumique en place ρ_0
Lorsque le sol est excavé il est ameubli et augmente de volume : c'est le phénomène de foisonnement. Son volume devient V et sa masse volumique ρ .

On définit le coefficient de foisonnement initial : $f_i = \left\{ \frac{(V-V_0)}{V_0} \right\} \times 100 = \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) - 1 \right\} \times 100$

- 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 .

On définit le coefficient de foisonnement final : $f_d = \left\{ \frac{(V_2-V_0)}{V_0} \right\} \times 100 = \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho_2} \right) - 1 \right\} \times 100$

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

Application : Vous avez un chantier de terrassement. Le calcul de cubature donne un volume en place à déblayer de 1000 m³. Le sol à excaver est constitué de terres très compactes.

a) Quel volume de sol devez-vous prévoir de transporter ?

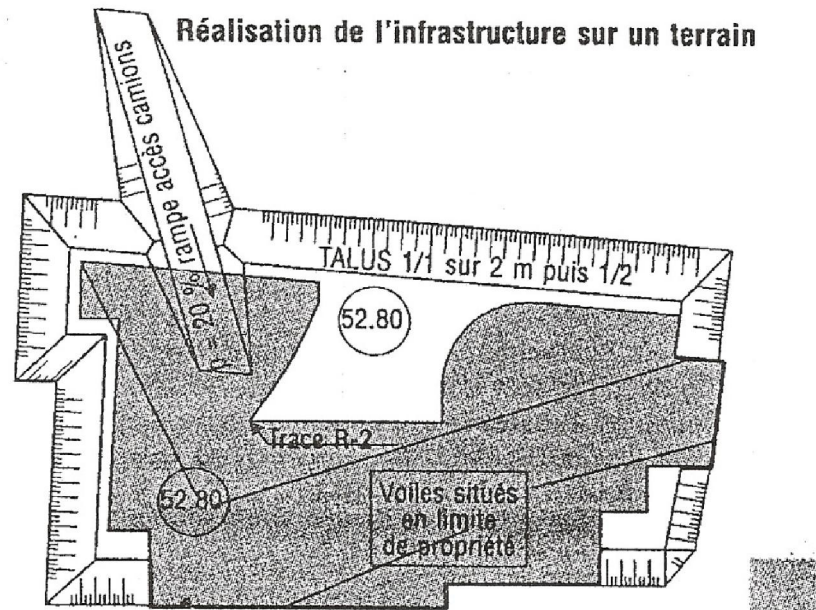
b) Quel volume de remblai pourrez-vous réaliser ?

III) TERRASSEMENT DES BATIMENTS

1) Le plan de terrassement

Le plan de terrassement comprend :

- Une vue en plan
- Des coupes



L'emprise du terrassement sera déterminée en tenant compte d'une sur largeur de travail en fond de fouille. Le talus est établi en fonction de la profondeur de la fouille et des caractéristiques du sol :

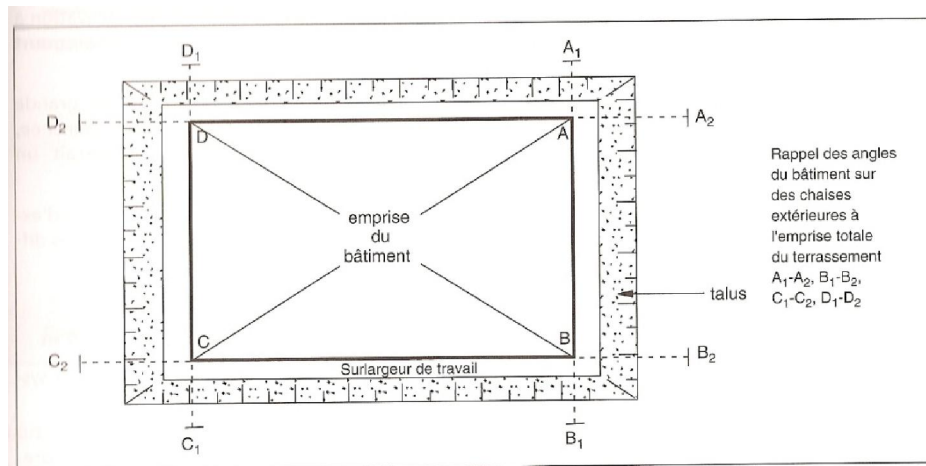
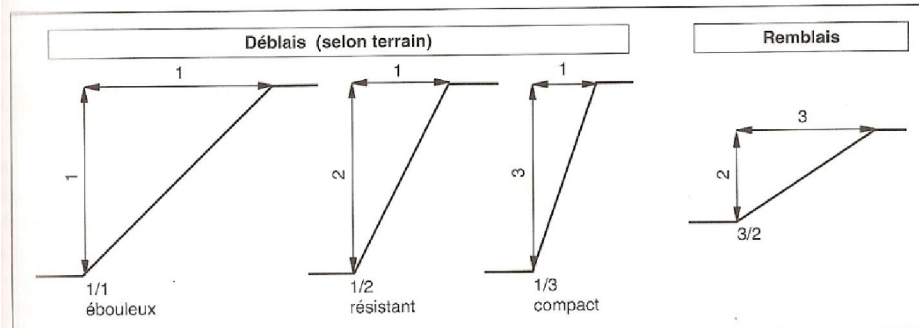


Fig. 3.4 • Emprise du terrassement.



2) Réalisation des parois périphériques enterrées

Les fouilles pour bâtiments nécessiteront

- Soit des talus : pente fonction de la cohésion du sol
- Soit des ouvrages de soutènement : pour raison de mitoyenneté par exemple.

Dans le cas où on doit assurer un soutènement des terres, plusieurs techniques peuvent être employées :

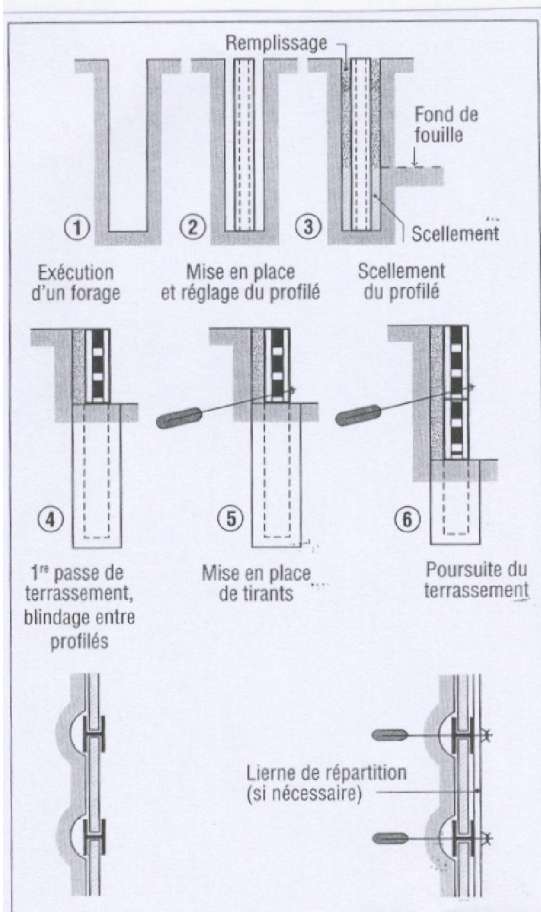
- Paroi berlinoise :

LES PAROIS BERLINOISES

Ce type de paroi est constitué de profilés métalliques (I ou H), descendus dans des forages et scellés en pied, entre lesquels on vient placer, au fur et à mesure de la progression de l'excavation, des planches en bois, des panneaux métalliques ou du béton.

Les profilés sont ensuite maintenus à l'aide de tirants ou de butons. L'espace entre les profilés est de l'ordre de 2,50m.

Mode opératoire :



- Paroi moulée



Paroi moulée

Le forage se fait à l'aide d'une benne preneuse.

La benne preneuse est guidée par une **murette guide** :



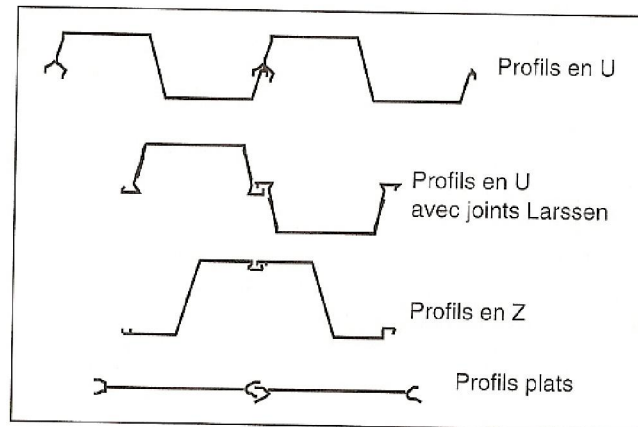
L'excavation est réalisée par passe à l'aide d'une benne preneuse. Durant l'excavation les parois sont maintenue par
www.cours-genie-civil.com

l'injection de boue (bentonite) ayant des propriétés tixotropiques. Lorsqu'on a atteint la profondeur voulue on met en place la cage d'armatures. Lors du bétonnage au tube plongeur, la boue est récupérée et recyclée.

- Palplanches métalliques

Un rideau de palplanche est formé à l'aide de profilés mis en place dans le terrain. La mise en place se fait par vibro-fonçage ou, si on souhaite supprimer toutes vibrations, par fonçage à l'aide d'une presse hydraulique.

Une technique appelée 'lançage' consiste à injecter de l'eau sous pression à la base de la palplanche pour décompacter et ameublir le sol (impossible cependant en cas de sol argileux)



- Paroi clouée

Une armature en TS est maintenue en place contre le talus par clouage dans le terrain de barres d'acier, régulièrement réparties, de 4 à 6 m de longueur. Le TS est protégé par une couche de béton projeté.

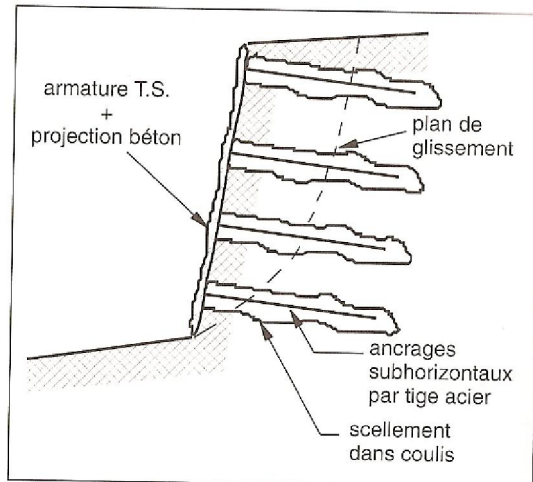


Fig. 3.10 • Paroi clouée.

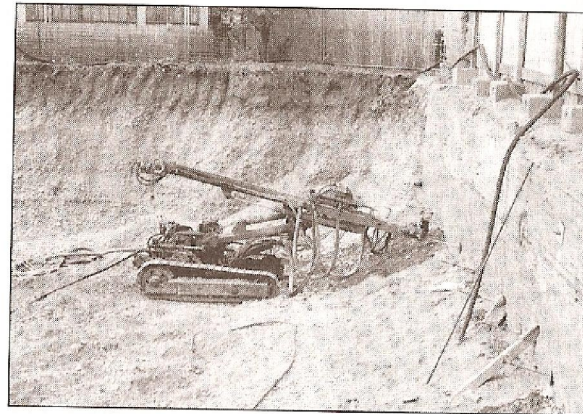


Photo 3.3 • Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage.

- **Autres techniques :**
Voiles contre terre par passes alternées
Techniques de reprise en sous-oeuvre

IV) TERRASSEMENT DES ROUTES

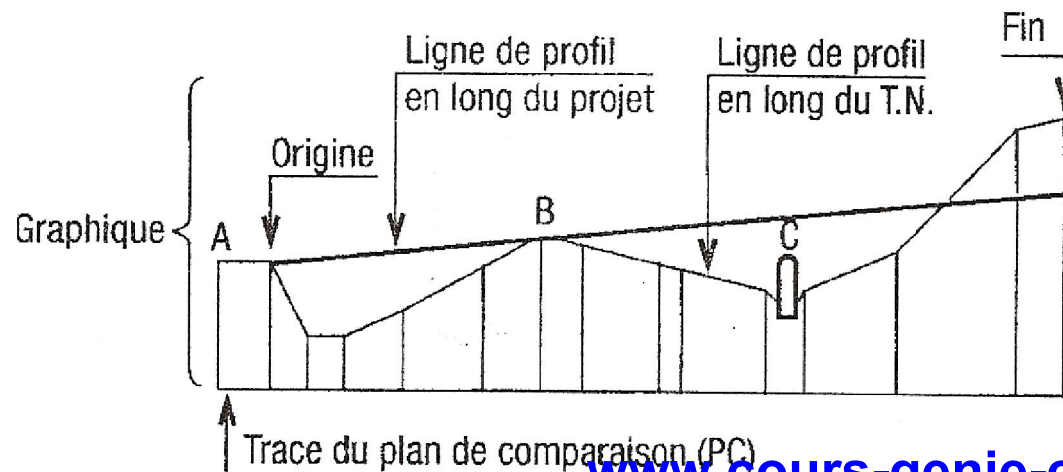
Les caractéristiques géométriques sont illustrées par le tracé en plan, le profil en lon et les profils en travers.

1) Vue en plan

Le plan est à une échelle adaptée au projet (1/500^e à 1/2000^e). On y trouve :

- l'origine et l'extrémité du projet
- la localisation des profils en travers
- la localisation des talus
- le sens d'écoulement des eaux et les ouvrages de recueillement

3) Profil en long



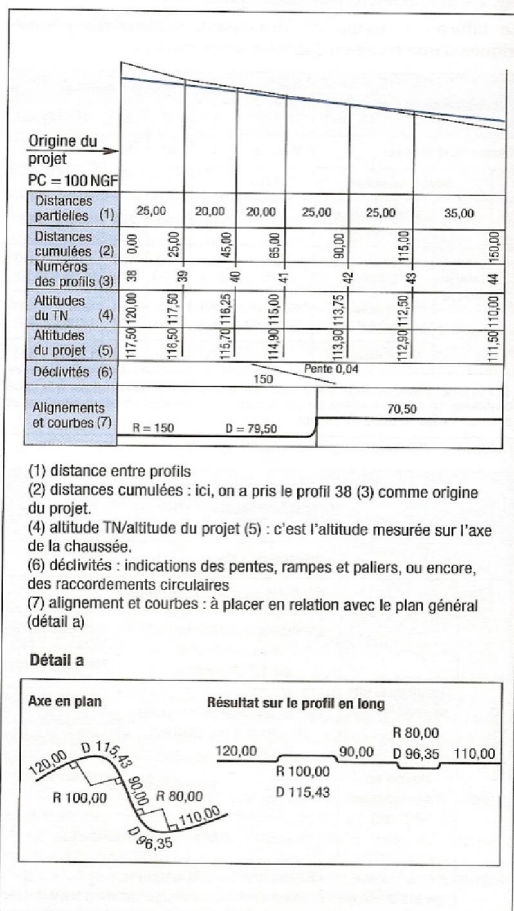


Fig. 8. Exemple de profil en long.

Le profil en long est une coupe verticale du projet réalisée suivant l'axe du tracé. On y trouve :

-Une ligne représentant l'axe de la route

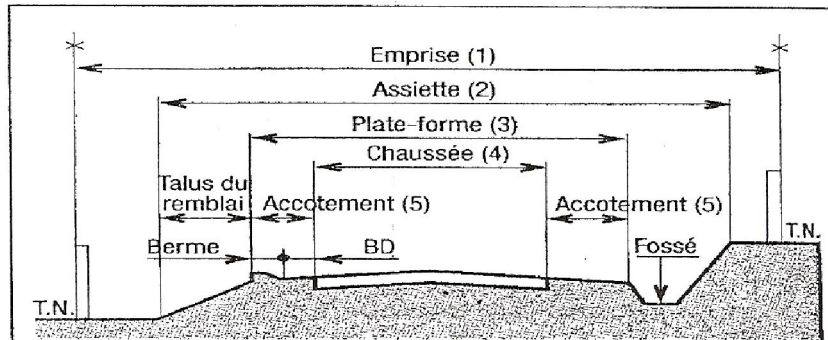
-Une ligne représentant le terrain naturel (T.N)

-Les points représentatifs du projet et du TN sont repérés par leur abscisse comptée à partir de l'origine et par leur altitude définie par rapport à un plan de référence (ou plan de comparaison)

4) Profil en travers

C'est une coupe verticale, perpendiculaire à l'axe du projet, sur laquelle on représente le

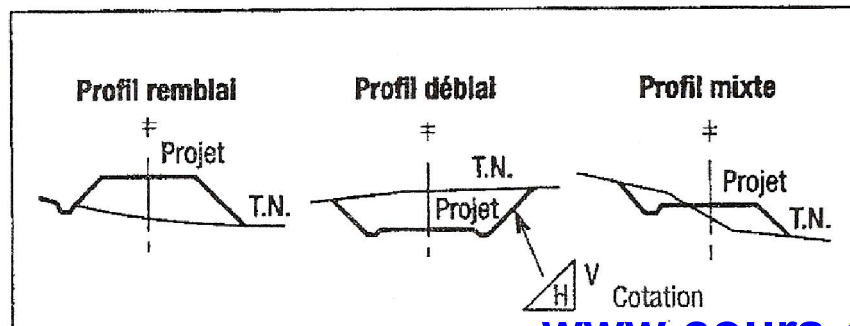
terrain naturel et le tracé du projet



- (1) L'emprise correspond à la partie du terrain qui appartient à la collectivité et qui est affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.
- (2) L'assiette est la surface du terrain réellement occupée par la route. Elle est délimitée par l'intersection avec le terrain naturel, des talus (déblai et remblai) et de la surface extérieure des ouvrages indispensables à la route.
- (3) La plate-forme, ou surface de la route, comprend la chaussée et ses accotements.
- (4) La chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- (5) Les accotements, zones latérales de la plate-forme, bordent extérieurement la chaussée. Ils comprennent la bande dérasée (BD) et la berme.

Profil en travers type d'une route.

Plusieurs cas de profils.



V) MOUVEMENTS DES TERRES

L'objectif est d'évaluer les quantités de terre à excaver et à remblayer.

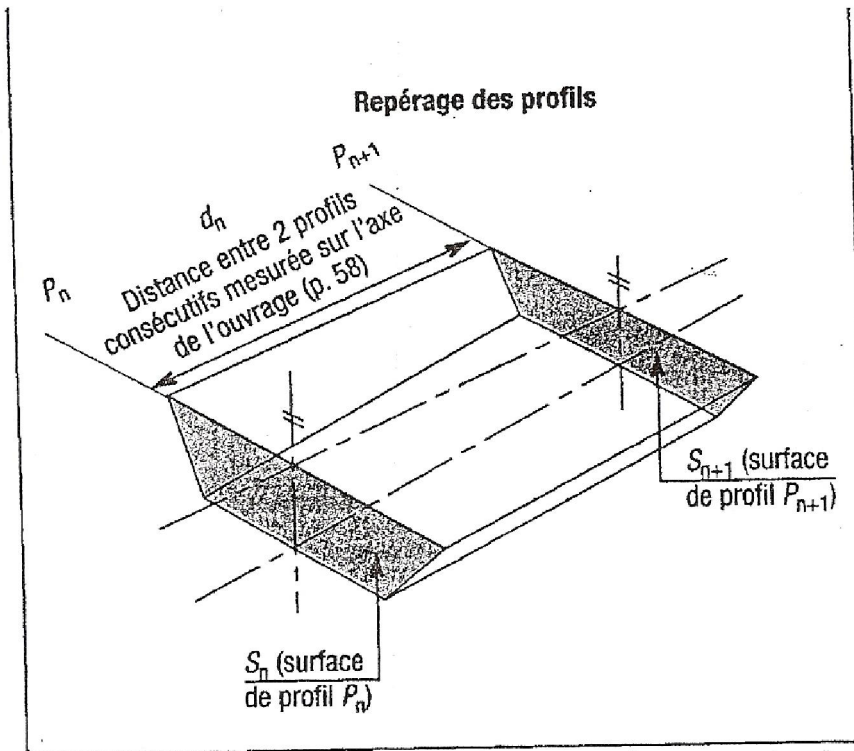
1) Calcul des surfaces

Le calcul de la surface se fait pour les différents profils en travers, en décomposant la surface en autant de surfaces simples (rectangle, triangle, trapèzes) que nécessaire.

2) Calcul des cubatures

A ce stade la topographie du T.N n'est connue qu'en certains points du projet. Il est donc illusoire de vouloir procéder à des calculs très précis. L'approximation des méthodes de calculs utilisées sont donc acceptées

a) Calcul d'un volume entre deux profils en travers consécutifs



Notations pour le calcul d'un volume de terres entre deux profils en travers consécutifs.

Les deux surfaces S_n et S_{n+1} sont supposées parallèles.

Le volume V_{pn} est alors égal à :

$$V_{pn} = \frac{(S_n + S_{n+1})}{2} d_n$$

ou encore :

$$V_{pn} = S_n \frac{d_n}{2} + S_{n+1} \frac{d_n}{2}$$

b) Calcul d'un volume affecté à un profil – notion de distance d'application

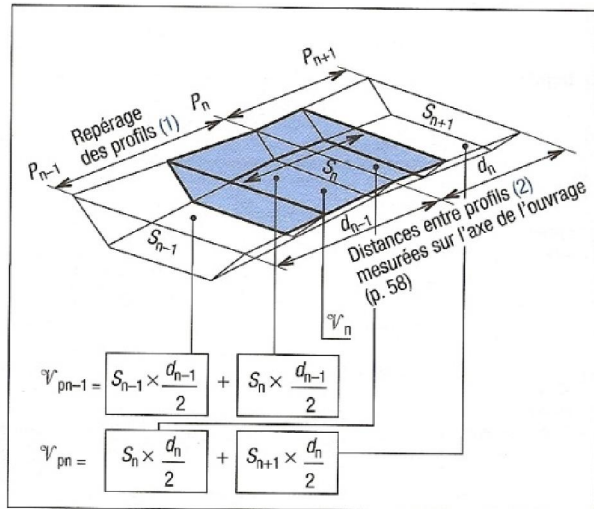


Fig. 3. Utilisation de la notion de distance d'application.

La distance est mesurée sur l'axe de l'ouvrage.

Le volume V situé de part et d'autre du profil P_n peut s'écrire sous la forme :

$$V_n = S_n \frac{d_{n-1}}{2} + S_n \frac{d_n}{2}$$

Dans cette méthode on relie à chaque profil un calcul de cubature.

Par simplification : $V_n = S_n (d_{n-1} + d_n) / 2$

c) Présentation

Comme dans tous les cas de calculs répétitifs il est absolument nécessaire de présenter les calculs sous forme d'un tableau.

Exemple de tableau :

N° des profils	Distance entre profils	Déblais		Remblais	
		Section	Volume	Section	Volume
P1					
P2					
P3					
P4					

3) Bilan

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 ..
- d'engins de transports : camions, tombereau....

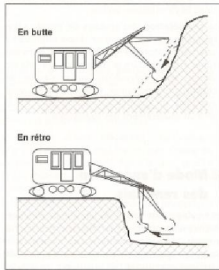
En effet il faudra pour cela tenir compte du paramètre 'distance de déplacement'.

Pour les chantiers présentant des zones de déblais et des zones de remblais, on devra si possible utilisé 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.

VI) LES ENGINS DE TERRASSEMENT – Consulter également les Power Points sur ce thème

1) LES ENGINS DE PRODUCTION :

DESCRIPTION	EQUIPEMENT	UTILISATION	FACTEURS DE RENDEMENT
BULLDOZER BOUTEUR -à chenille -sur pneus	ou -lame refoulante à l'avant -scarificateur à l'arrière (pour ameublir les sols) -rippeur à l'arrière (idem)	-Défrichage -Déplacement des terres	-puissance et équipement du tracteur -nature et topographie du sol -travail à effectuer

	scarificateur avec une seule dent)		
ANGLEDOZER	-lame orientable à l'avant		
CHARGEUSES -à chenilles -sur pneus	-godet	-chargement -transport sur de courtes distances	-capacité du godet -Durée d'un cycle : Charger le godet-aller-vider le godet-retour
PELLES HYDRAULIQUES -sur pneus -sur chenilles Chassis fixe – structure supérieure pouvant effectuer une rotation de 360°	-Godet en butte  -godet en rétro -benne preneuse -BRH (Brise Roche Hydraulique)	-fouille -chargement	-Puissance de l'engin -nature du sol -l'angle de travail -durée d'un cycle
TRACTOPELLE CHARGEUSE-PELLETEUSE -sur pneus	ou -godet + pelle en retro	-exécution de fouilles petits chantier -remblaiement possible ou chargement des terres	

DESCRIPTION	EQUIPEMENT	UTILISATION	FACTEURS DE RENDEMENT
NIVELLEUSE -sur pneus	-lame d'acier à inclinaison variable et orientable -possibilité d'équipement avec un	-terrasser sur de faibles épaisseur -déplacer les terres et aplanir	

	scarificateur à l'arrière	la surface	
DECAPEUSE (ou scraper) -sur pneus	-benne renforcée pour le raclage des sols	-terrasser sur de faibles épaisseurs -transporter sur de courtes distances (400 à 500 m)	

2) LES ENGIN DE TRANSPORT

Une fois l'extraction des sols réalisée par les engins de production, les engins de production doivent évacuer les déblais soit vers les lieux de remblaiement, soit vers des zones de dépôt.

Les camions 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 ; d'une contenance de 20 à 30 m³, à vitesse lente, ils sont opérationnels sur de faibles distances (1000m à 1500 m)

La durée d'un cycle comprend :

- Le chargement
- Le transport en charge
- Le déchargement
- Le retour à vide
- Les temps d'attente

A retrouver.....

Le temps de chargement : Exprimons le temps de chargement en fonction de la capacité du camion et du rendement du chargeur

Nombre de camions nécessaire : Exprimons le nombre de camions en fonction de la durée totale du cycle d'un camion et du temps de Chargement d'un camion

VII) ATELIER DE TERRASSEMENT

La performance d'une machine est toujours mesurée par le coût unitaire du matériau déplacé : €/m³.

1) Coefficient d'efficience

Les coefficients d'efficience (k) permettent de déterminer la production réelle d'un engin en tenant compte de différents paramètres :

- La puissance et l'équipement de la machine - Le temps réel de fonctionnement
- Le type de sol à traiter - Les conditions de travail du conducteur

Exemple de coefficient d'efficience d'une pelle hydraulique : K1 :

fonction des conditions de travail

Conditions de travail	K (%)
Faciles	95 à 100
Moyennes	83
Moyennes à difficiles	75
Difficiles	65
Très difficiles	55

K2 : fonction du temps de travail réel

Efficience horaire	médiocre	moyenne	normale	bonne	Très bonne
Travail effectif (mn/h)	35	40	45	50	55 à 60
K (%)		66	75	83	92 à 100

Enfinement : $Pr = k1 \times k2 \times \dots \times P_{théo}$

2) Facteur de remplissage d'un godet

Exemple de facteur de remplissage R d'un godet d'une pelle hydraulique:

Nature du sol	R(%)
Terrains légers	100
Terrains lourds	95
Terrains rocheux	85
Blocs de roches	70

3) Durée de cycle des engins

-durée de cycle d'un camion :

Pour ce calcul le temps de déchargement sera donnée forfaitairement, à partir de l'expérience

-durée de cycle d'une pelle ou d'un chargeur : ce temps pourra être également donné forfaitairement en fonction de la nature des sols

4) Méthodologie pour le choix des engins

On procédera de la manière suivante :

- Déterminer la production horaire de l'engin de production
- Choisir une machine de capacité légèrement supérieure
- Déterminer les durées des cycles des différents engins de l'atelier
- Calculer le nombre d'engins à affecter à l'atelier de terrassement
- Evaluer la production horaire réelle de l'atelier de terrassement

VIII) APPLICATIONS

EXEMPLE 1

Vous devez réaliser un terrassement dans un terrain ordinaire et évacuer 4 500 m³ de matériaux en place à une distance de 6 km. Le matériau à extraire a un coefficient de foisonnement initial $f_i = 1,25$

On donne :

- Camion(s) de 15 m³ : vitesse en charge : 50 km/h – Vitesse à vide : 70 km/h – temps de déchargement : 2mn
- Une pelle équipée d'un godet de 1,5 m³ - Coefficient de remplissage : 95%
- Durée du cycle de la pelle : 0,9 mn
- Coefficient d'efficience de la pelle : $k = 0,80$

On demande :

- Déterminer la durée de cycle d'un camion
- Déterminer le nombre de camions à affecter à cet atelier de terrassement (ou noria) dans le cas où l'on souhaite que la pelle n'attende pas.

EXEMPLE 2

Le terrassement en pleine masse sous l'emprise du bâtiment est à réaliser en zone urbaine. Vous devez évacuer 2 200 m³ de matériaux en place à une décharge publique située à 12 km.

Les matériaux à extraire ont un coefficient de foisonnement initial de 1,35 et une masse volumique de 1600 kg/m³ foisonné

On donne :

- Une pelle sur chenilles de rendement théorique 120 m³/h , de coefficient d'efficience 0,83
- Des camions bennes 6 x 4, charge utile 26 t, vitesse en charge : 30 km/h ; vitesse à vide : 60 km/h – Temps de déchargement : 5mn

On demande :

- Déterminer la durée du cycle de travail d'un camion benne.
- Déterminer le nombre de camion dans chacun des cas suivants
 - a) Les camions n'attendent pas – la pelle attend
 - b) La pelle travaille à plein temps – les camions attendent

Vous ferez une représentation graphique du cycle de travail de la noria

- Calculer dans chacun des cas envisagé la production horaire

EXEMPLE 3

Présentation :

En vue de la construction d'un immeuble d'habitations, on doit réaliser les travaux de terrassement selon le plan ci-joint. Dans un premier temps on réalisera la fouille en pleine masse. Dans un deuxième temps on utilisera les déblais pour effectuer le remblaiement au pourtour de l'ouvrage jusqu'au niveau du terrain naturel.

On donne :

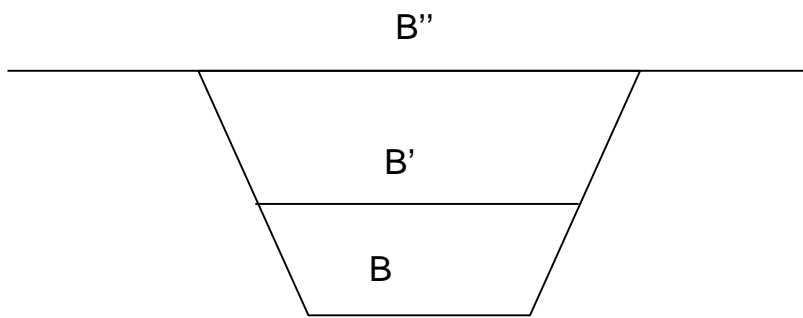
- Le plan de terrassement page suivante
- les renseignements complémentaires suivants :

Sol en place	Masse volumique foisonnée : 1600 kg/m ³ Foisonnement initial : 24% Foisonnement final : 4%
Pelle sur chenille CASE POCLAIN	Godet rétro de 1200 l Durée du cycle : 0,8 mn Efficience : 0,84 Coût de la location : 1120 €/J
Camions	Charge utile 17 tonnes Vitesse moyenne en charge : 45 km/h Vitesse moyenne à vide : 50 km/h Coût de location : 350 €/j
Chantier/décharge	Vous prendrez un volume de terre à évacuer de 7100 m ³ (volume foisonné) La distance du chantier à la décharge est de 10 km Le temps de mise en place des camions est de 1 mn Le déchargement, y compris l'approche, est de 6 mn
Entreprise	Durée de travail hebdomadaire : 35 h Temps improductif par jour de travail : 0,6 h

On demande :

- Quantifier le déblai
- Quantifier le remblai compacté au droit de la construction
- Quantifier les terres excédentaires à évacuer à la décharge
- Déterminer le nombre de camions à affecter à cet atelier de terrassement (on s'intéresse ici uniquement au volume à évacuer)
- Déterminer le rendement journalier
- Déterminer la durée du chantier
- Calculer le coût de m³ de terre évacuée (en DS matériel)

Pour calcul des volumes : formule des trois niveaux



$$V = (B + 4B' + B'') H / 6$$

Avec :

B : surface fond de fouille

B' : surface à mi-hauteur

B'' : surface terrain naturel

H : profondeur de la fouille

