

Chapitre 6 Cubatures et Mouvement des terres

1. Cubature des terres - Principe
2. Mouvements des terres – Epure de terrassements
3. Epure de Lalanne
 - a. Généralités
 - b. Méthode de Lalanne
 - c. Différents cas envisagés
 - d. Déblais excédentaires
 - e. Remblais excédentaires
 - f. Dépôt ou emprunt en bordure du tracé
 - g. Exemple de représentation

1.1.) La cubature des terrassements :

C'est l'évaluation des volumes des terres

A partir des

soit à apporter

soit à enlever

pour réaliser le projet

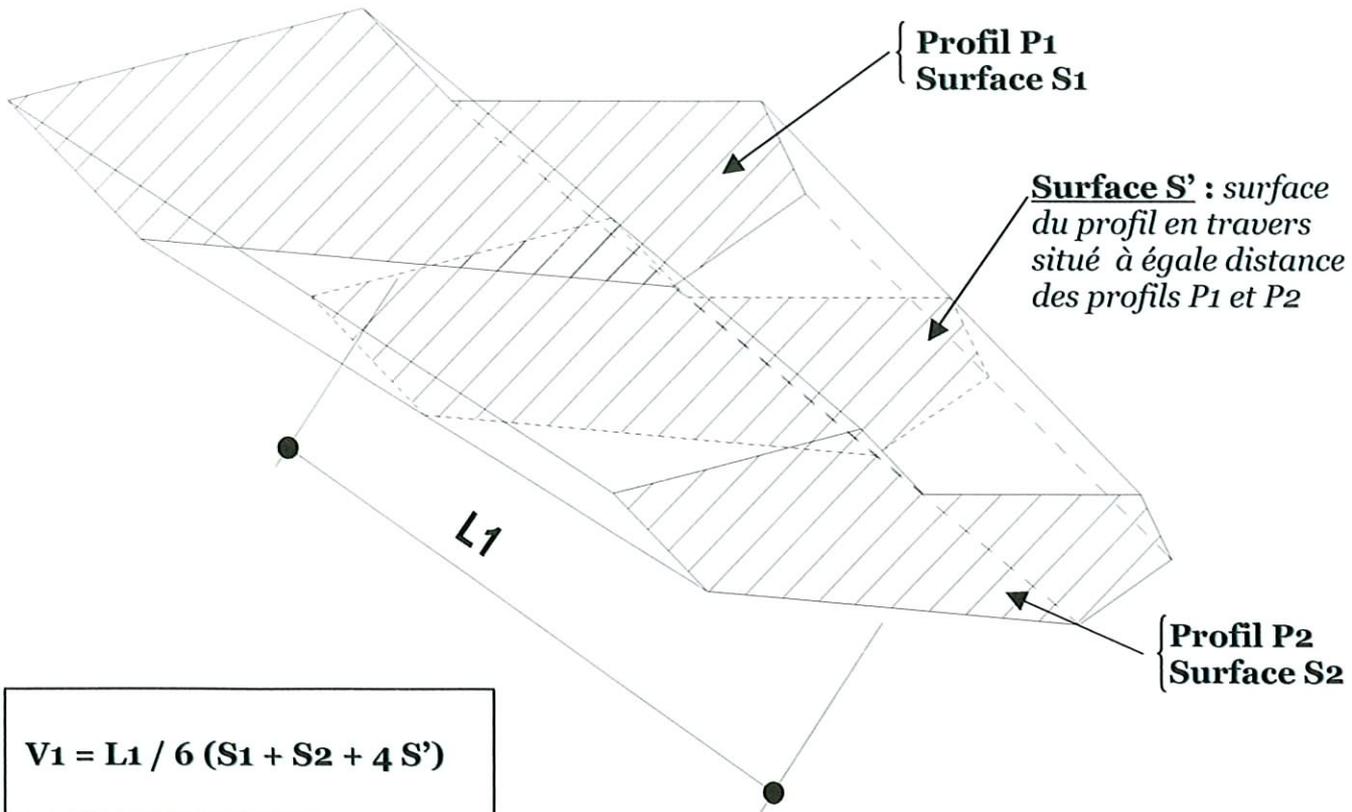
- Surfaces de remblai ou de déblais obtenues par le profil en travers.
- distances entre profils en travers, indiquées sur le profil en long.

CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Hypothèses :

- le calcul des volumes s'effectue dans le sens de parcours du projet.
- Le terrain est supposé régulier entre 2 profils.

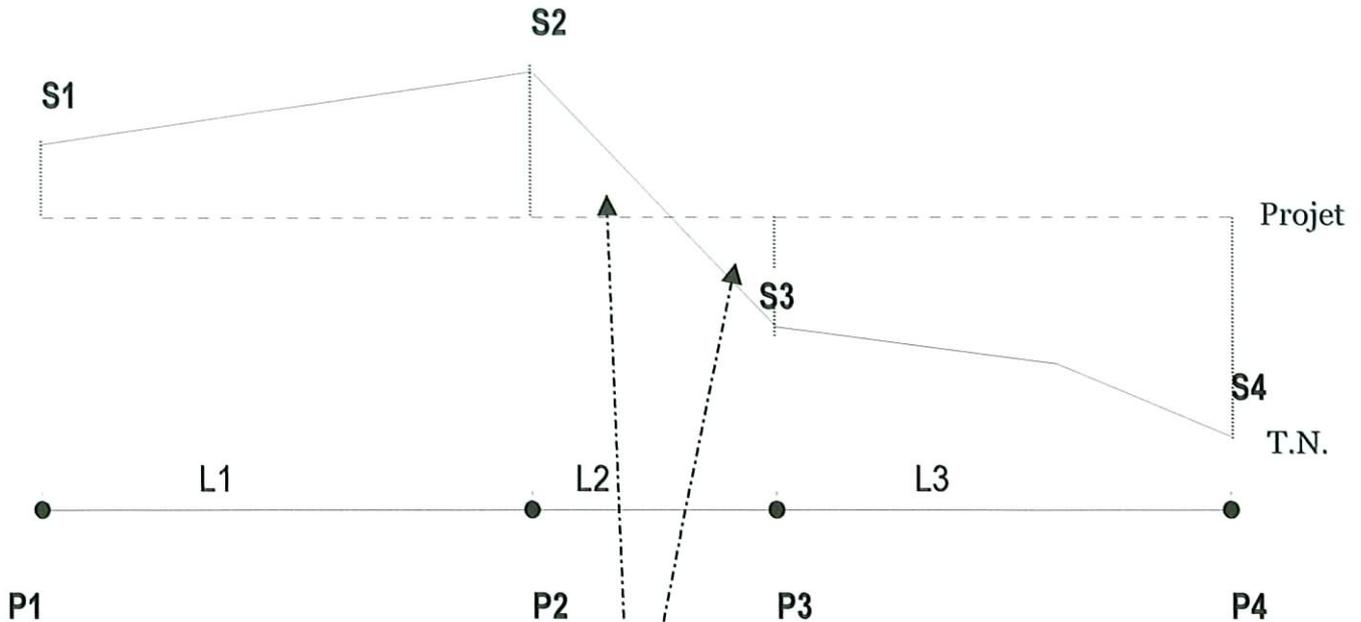
Plus le nombre des profils en travers sera grand, meilleure sera la précision de calcul des terrassements.



Simplification : On considère que $S' = (S_1 + S_2) / 2$ alors : $V_1 = L_1 / 6 (S_1 + S_2 + 4 (S_1 + S_2) / 2)$

Donc :
$$V_1 = L_1 / 2 (S_1 + S_2)$$

En généralisant à l'ensemble du projet :

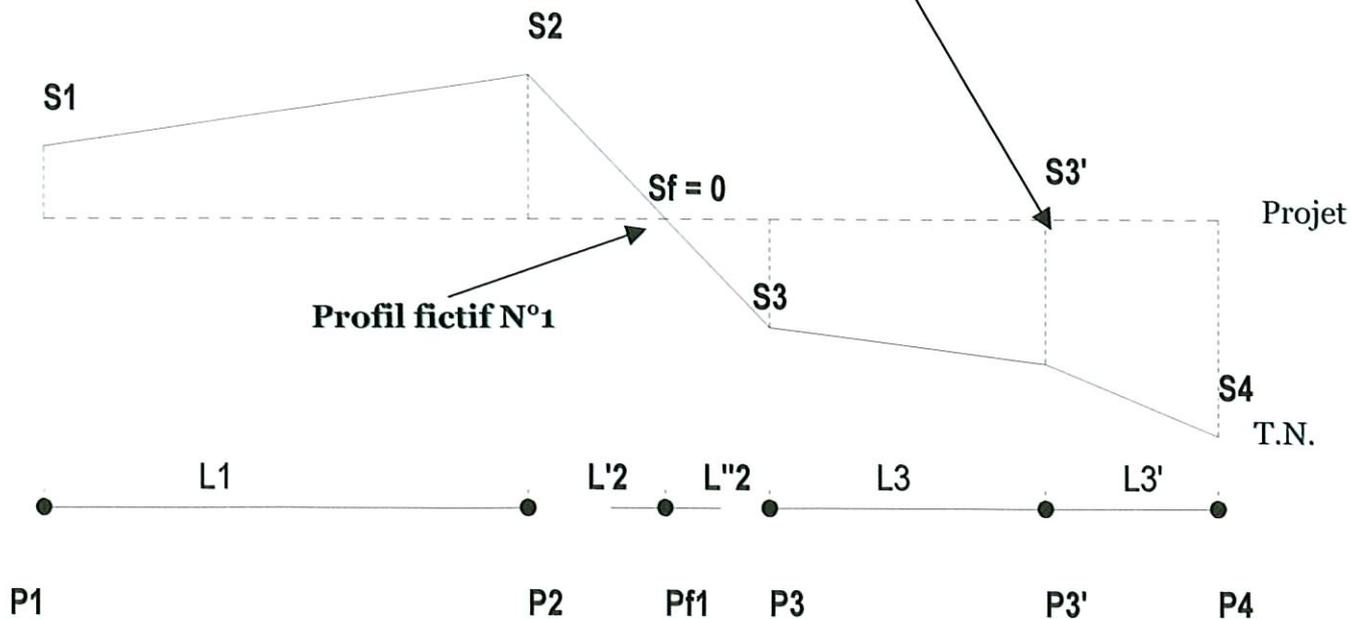


Le calcul général donne donc :

$$V_1 = L_1 / 2 (S_1 + S_2)$$

$V_2 = L_2 / 2 (S_2 + S_3)$ { **Pb 1** : Comment déterminer la partie de Remblais et celle de déblais ?
On interpose un **profil en travers FICTIF** Pf1 de surface nulle.

$V_3 = L_3 / 2 (S_3 + S_4)$ { **Pb 2** : Le calcul de ce volume est approché en raison de la présence du point de brisure du TN entre les profils P3 et P4. Attention au choix de la position des profils en travers (en ajouter si nécessaire : ici, le profil P3')

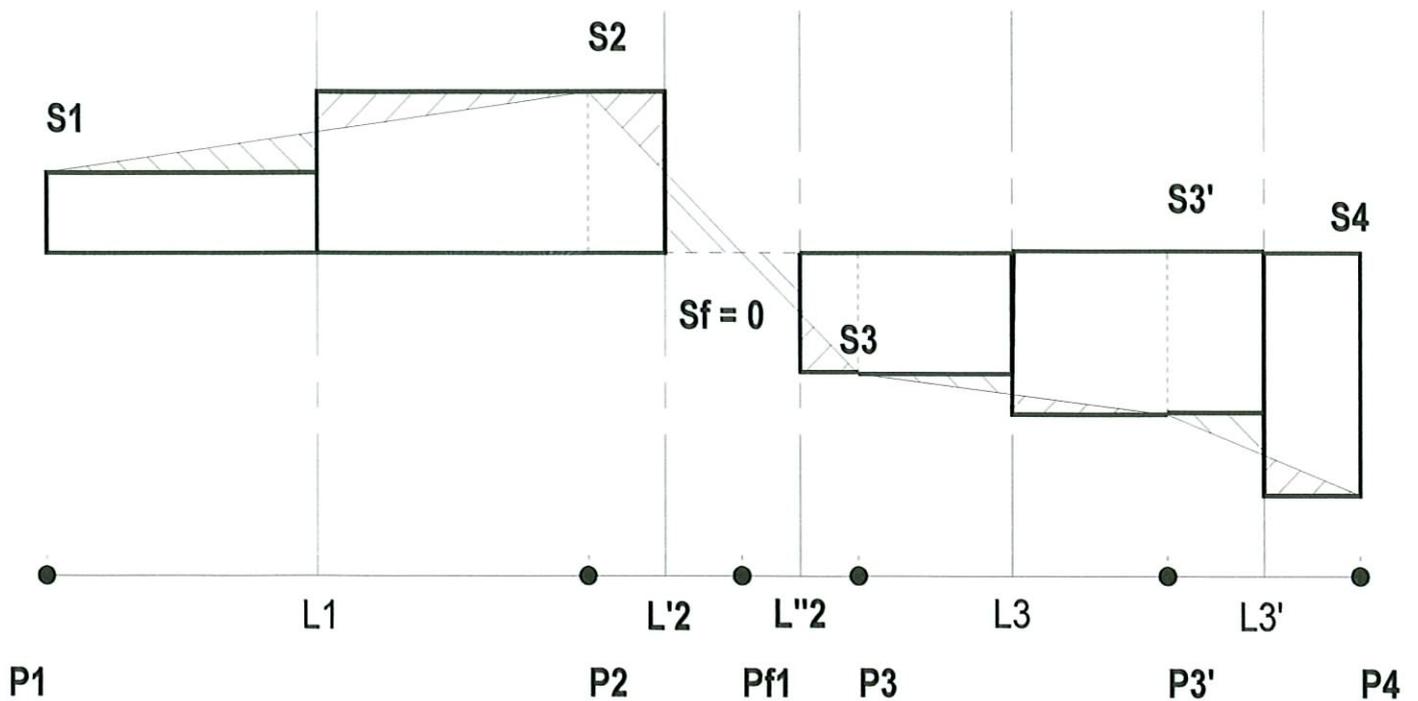


$$\begin{aligned}
 V_1 &= L_1 / 2 (S_1 + S_2) \\
 + \\
 V'_2 &= L'_2 / 2 (S_2 + 0) \\
 + \\
 V''_2 &= L''_2 / 2 (0 + S_3) \\
 + \\
 V_3 &= L_3 / 2 (S_3 + S_3') \\
 + \\
 V_3' &= L_3' / 2 (S_3' + S_4)
 \end{aligned}$$

$$V = (L_1 / 2) S_1 + S_2 (L_1 + L'_2) / 2 + S_3 (L''_2 + L_3) / 2 + S_3' (L_3 + L_3') / 2 + S_4 (L_3' / 2)$$

\uparrow
Rappel : $S_{f1} = 0$

Cette dernière formulation revient à remplacer les volumes par des prismes ayant pour section la surface du profil en travers et pour hauteur la moitié de la distance de ce profil aux 2 profils voisins.



ATTENTION :

Tous les calculs sont effectués en **VOLUMES EN PLACE !!!**

Les calculs de surfaces de **REMBLAIS** et de **DEBLAIS** sont effectués « **après avoir ENLEVÉ la T.V. et les PURGES éventuelles** ».

Voir principe avec PF ou non

Les calculs sont effectués à l'aide d'un tableau du type :

N° Profils	Distances partielles en m	Longueur d'application en m	Déblais		Remblais		Purge		Terre Végétale	
			Surf. en m ²	Cubes en m ³	Surf. en m ²	Cubes en m ³	Surf. en m ²	Cubes en m ³	Surf. en m ²	Cubes en m ³
	0									
1	15	15	15	225	0	0	0	0	2	30
	30									
2	22,5	67	67	1507,5	2	45	1	22,5	3	67,5
	15									
Pfl	12,5	0	0	0	0	0	0	0	1,8	22,5
	10									
3	17,6	0	0	0	60	1056	3	52,8	2,4	42,24
	25,2									
3'	19	0	0	0	80	1520	0	0	2	38
	12,8									
4	6,4	0	0	0	102,3	654,72	0	0	2	12,8
	0									
TOTAL en M3:			1732,5	3275,72	75,3	213,04				

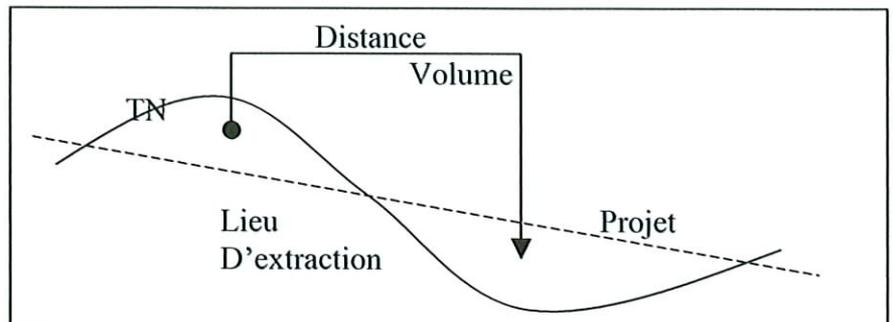
Un tableau est rempli POUR CHAQUE CLASSE DE SOL !!!

1.2.) Les mouvements de terre : Epure des terrassements :

OBJECTIFS : Indiquer les transports de terres qui doivent être effectués sur un chantier de terrassement routier :

Pour chaque volume de matériaux, on indique :

- le lieu d'extraction.
- le lieu de mise en dépôt ou en remblai.
- la distance de transport.

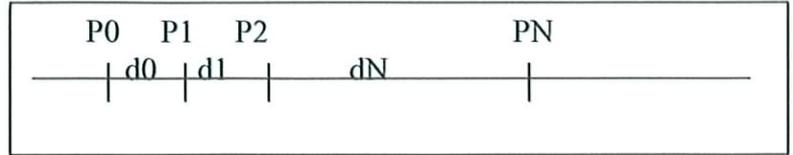


INTERETS :

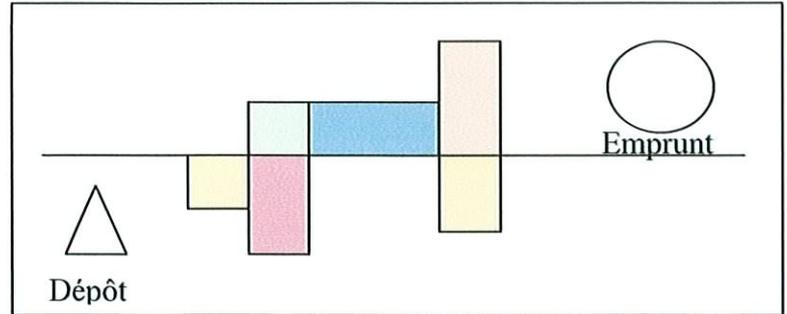
- Le transport des terres représente une part importante des travaux à effectuer sur un projet routier (40 à 50% du prix total) : une **étude soignée** doit être réalisée lors des phases de soumission des prix du marché, de préparation du projet, d'exécution des travaux.
- Permet d'évaluer les **rendements** nécessaires en fonction de la durée prévue du chantier.
- Permet de **choisir le matériel** adapté au matériau, aux rendements, aux distances de transport.
- Permet d'établir le **planning général** des travaux pour l'ensemble du chantier.

PRINCIPE du TRACE d'une EPURE des terrassements :

Sur une droite appelée « **ligne de terres** », représentant l'axe de la route sont portés des points P0, P1, P2, ... PN distants des quantités d0, d1, d2, ... dN correspondantes aux **différents profils en travers**.



Perpendiculairement à cette droite, les **volumes de terrassement en M3 FOISSONNES** sont portés à l'aide d'une échelle appropriée.



Il est nécessaire d'indiquer à l'aide **d'hachures**, les différentes natures **géotechniques (GTR)** des sols en présence.

Cette représentation va donc permettre de représenter tous les mouvements de terres, d'un point à un autre du chantier. Ces mouvements sont indiqués par des flèches avec origine et fin auxquelles on associe distances et volumes correspondants

On aboutit à :

- soit un **équilibre des déblais et des remblais** (les volumes de déblais et de remblais se compensent exactement : cas rare en pratique !)
- soit un **excès de déblais**. Dans ce cas, cet excédent est évacué vers un lieu de **dépôt**.
- soit un **excès de remblais**. Dans ce cas, un lieu **d'emprunt** de matériaux est nécessaire pour compléter les remblais.

Afin d'évaluer le **coût** des mouvements de terres, on calcule le produit « **volume transporté . distance de transport** » pour chacun des mouvements désignés par des flèches sur l'épure : le **moment de transport élémentaire (Mi = Vi . di)**.

On additionne tous ces moments de transport élémentaires **pour obtenir le moment de transport général : M = Σ (Mi)**.

La **distance moyenne de transport** pour le chantier est égale au rapport du moment de transport général par le volume total transporté (V = Σ (Vi)) :

$$\mathbf{d = \Sigma (Vi . di) / (\Sigma (Vi))}$$

L'épure la plus économique correspond à celle qui donnera la distance de transport moyenne générale la plus faible...

Voir cours suivant Epure de Lalanne

MOUVEMENT DES TERRES PAR MASSES

A – GENERALITES

Le mouvement des terres est l'opération qui consiste, au moyen d'engins appropriés à effectuer le transport des terres de déblai (ou d'emprunt) en remblai (ou en dépôt).

Soient : V en m^3 , le volume de terre à transporter
 d en m , la distance de transport

$$X = \frac{\text{le prix du transport de } 1 \text{ m}^3 \text{ à la distance } d \times \text{le volume } V \text{ de terre à transporter}}{\text{prix du transport de } V \text{ à la distance } d}$$

Donc le prix du transport est fonction du volume V et de la distance de transport d .

Dans un projet on a souvent plusieurs cubes : V_1, V_2, V_3 , etc., à transporter à des distances : d_1, d_2, d_3 , etc.

Au lieu d'étudier séparément les prix de transport de
 V_1 à une distance d_1
 V_2 à une distance d_2
 V_3 à une distance d_3 etc.

on étudie le prix du transport de $V = V_1 + V_2 + V_3 + \text{etc.}$ à une distance moyenne d, m .

$$d.m. = \frac{V_1 d_1 + V_2 d_2 + V_3 d_3 + \text{etc.}}{V_1 + V_2 + V_3 + \text{etc.}}$$

$$\text{soit encore} \quad d.m. = \frac{\text{Somme de } Vd}{\text{Somme de } V} = \frac{Vd}{V}$$

Le produit d'un volume transporté par sa distance de transport s'appelle le moment de transport.

Dans un projet, les parties en déblai étant enchevêtrées avec celles en remblai, on a le choix de plusieurs lieux de remblai pour un déblai de même provenance.

Suivant le choix de ces lieux, on fera varier les distances de transport de chaque cube, donc la distance moyenne de transport.

Il faudra donc organiser les transports de façon à ce que la somme des moments de transport soit la plus petite possible.

C'est le but de l'étude du mouvement des terres.

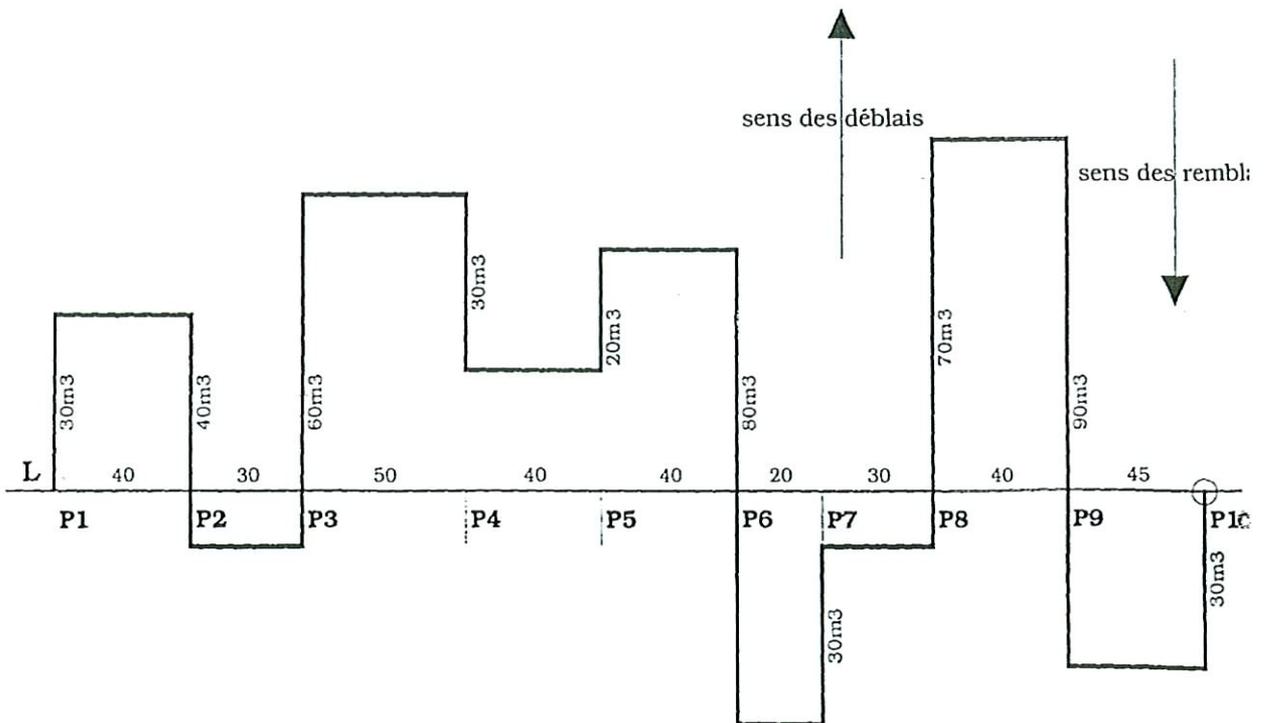
Les prix de transport varient aussi suivant le type de l'engin utilisé. Il sera donc intéressant de déterminer la distance moyenne de transport par type d'engin.

- bulldozer
- scraper
- camion.

La distance moyenne générale étant celle qui s'applique à l'ensemble des transports.

EPURE DE LALANNE

N° de profil	Excédents	
	D > R	R > D
1	9	10
Profil n° 1	30	
Profil n° 2		40
Profil n° 3	60	
Profil n° 4		30
Profil n° 5	20	
Profil n° 6		80
Profil n° 7	30	
Profil n° 8	70	
Profil n° 9		90
Profil n° 10	30	
Total	240	240



B - METHODE DE LALANNE

1. PRINCIPE : on considère

- que 1 m^3 de déblai correspond à 1 m^3 de remblai compacté, sans tenir compte du foisonnement.
Par contre, dans l'étude du prix de transport, il faudra tenir compte de ce que 1 m^3 de déblai fournit plus que 1 m^3 de terre à transporter.
De même, dans l'avant métré, il faudra tenir compte des dépenses de compactage.
- que chaque cube de déblai ou de remblai est concentré au droit du profil en travers correspondant.
- on ne tient pas compte des cubes réemployés dans un même profil.

Un profil mixte sera donc considéré comme étant

- o en déblai du cube $D - R$, Si $D > R$
 - o en remblai du cube $R - D$, Si $R > D$
- on ne tient pas compte des profils fictifs où l'on a supposé qu'il n'y avait ni déblai, ni remblai.

2. L'EPURE DE LALANNE

C'est un moyen de représentation graphique des terrassements.

1^o. Construction

- On porte sur une droite, dite ligne de terre LT , ou ligne initiale, les distances entre centres de gravité. *On ne porte pas les profils fictifs.*
- Perpendiculairement à cette ligne, on trace les cubes des déblais et des remblais lus dans le tableau du mouvement des terres.
- On choisit pour cela une échelle des cubes (par exemple 1 centimètre pour 20 m^3 ou pour 50 m^3 ou encore pour 100 m^3).
- On porte
 - . les déblais de bas en haut
 - . les remblais de haut en bas

en sautant d'un centre de gravité à l'autre par un échelon horizontal.

- o Si l'extrémité du cube du dernier profil se trouve :

Voir études de cas pages suivantes

a) sur la ligne de terre

Le cube des déblais = le cube des remblais.

b) au-dessus de la ligne de terre

Le cube des déblais est supérieur au cube des remblais. Il faudra mettre l'excédent en dépôt.

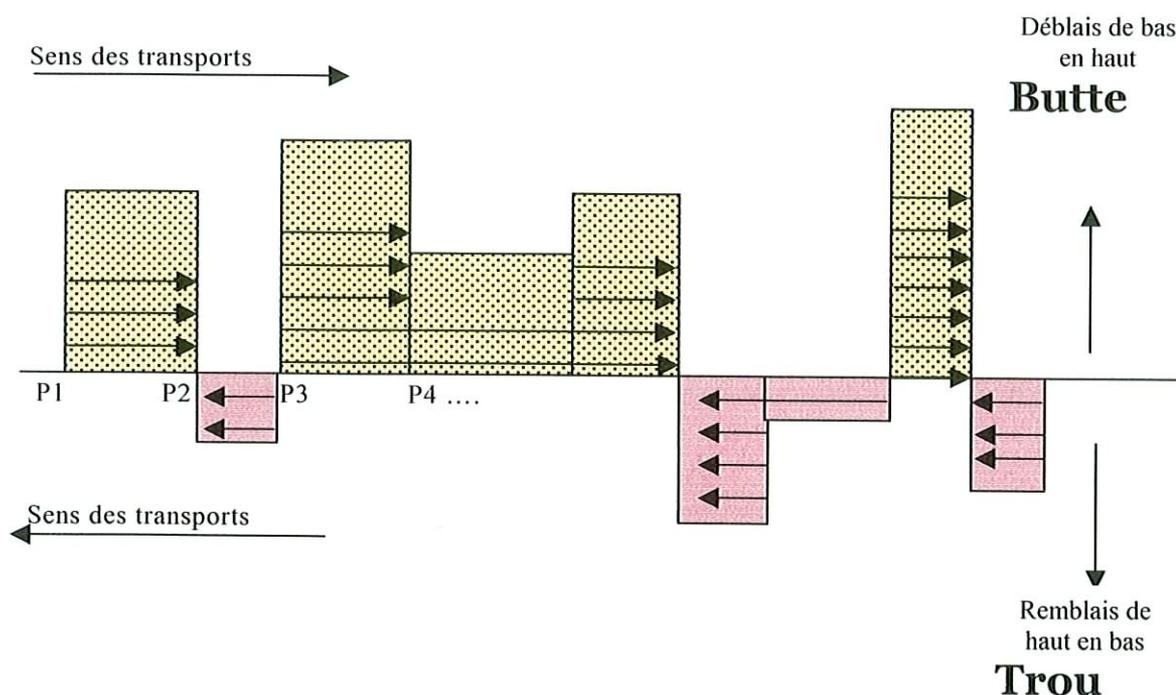
c) au-dessous de la ligne de terre

Le cube des déblais est inférieur au cube des remblais. Il faudra faire un ou plusieurs emprunts.

La distance entre la ligne de terre et l'extrémité de l'épure doit être, à l'échelle des cubes, égale à la différence des déblais et des remblais.

2°. Transports

- Ils se font évidemment dans le sens déblais → remblais.
- Sur l'épure, les cubes des déblais, représentés par des segments verticaux ascendants, seront transportés aux remblais, représentés par les segments verticaux descendants qui leur font face.
On obtient ainsi des rectangles qui représentent les transports.
- La surface de chaque rectangle (cube X distance) représente donc le moment de transport du cube correspondant au côté vertical du rectangle.
- Il faudra organiser les transports en faisant en sorte que la somme des surfaces des rectangles soit la plus petite possible.
- La somme de ces surfaces variant suivant la position de la ligne de répartition, il faudra choisir cette ligne.
- Les transports se font
 - de gauche à droite au-dessus de la ligne de répartition
 - de droite à gauche au-dessous de la ligne de répartition



1.3.) Cas : Déblais et Remblais compensés

Cas exceptionnel qui permet de comprendre la solution des autres cas.

Le point final est sur la ligne de terre initiale LT.

Aucune difficulté, on indique le sens des transports, on hachure les moments de transport.

Nota : Considérez les zones fermées sur la ligne de transport des terres

2. DIFFERENTS CAS ENVISAGES

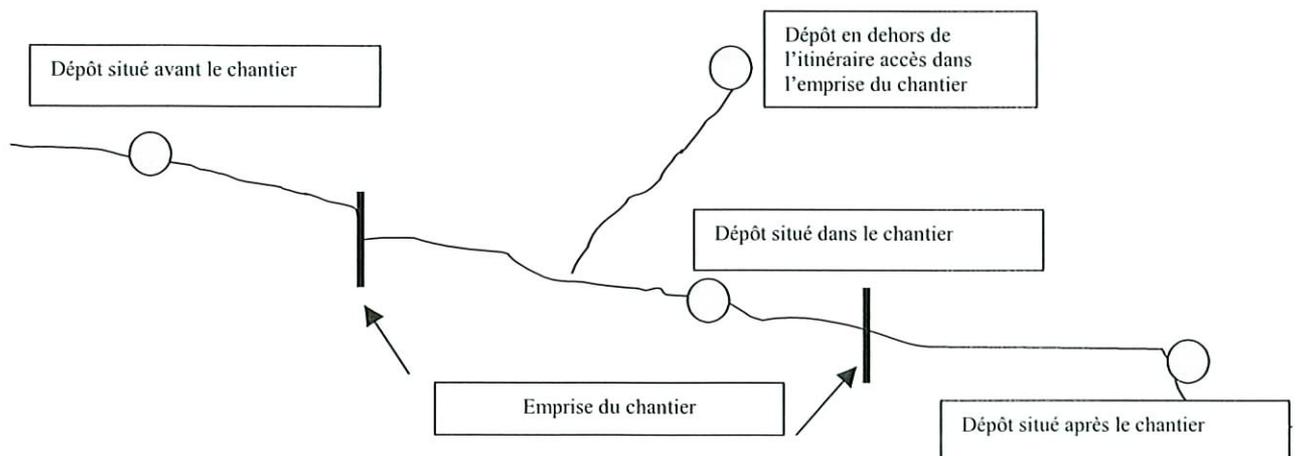
Une épure de Lalanne peut donner :

- Un excès de remblai
- Un excès de déblai
- Ou déblai et remblai compensés

Il peut y avoir :

- Un seul lieu de dépôt ou emprunt
 - placé à gauche
 - placé à droite
 - à l'intérieur de l'épure
- Plusieurs lieux de dépôt ou d'emprunt
 - Un à droite, l'autre à gauche
 - A l'intérieur de l'épure

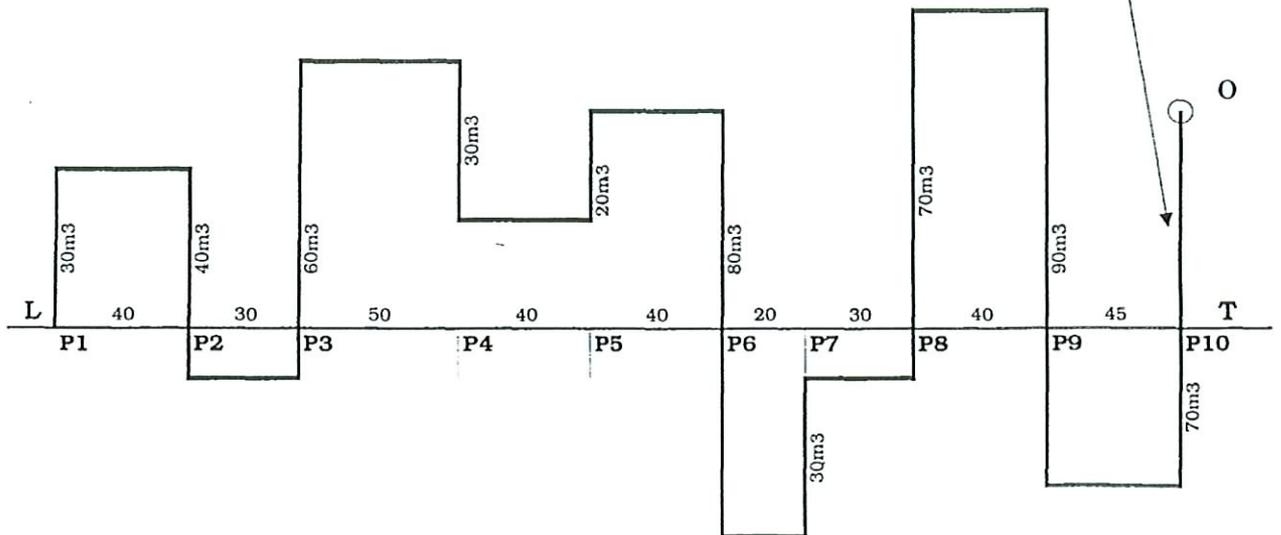
Différents cas de positionnement des dépôts (ou décharge ou carrière)



EPURE DE LALANNE (suite)
cas des déblais excédentaires

N° de profil	Excédents	
	D > R	R > D
1	9	10
Profil n° 1	30	
Profil n° 2		40
Profil n° 3	60	
Profil n° 4		30
Profil n° 5	20	
Profil n° 6		80
Profil n° 7	30	
Profil n° 8	70	
Profil n° 9		90
Profil n° 10	70	
Total	280	240

soit 40 m³ de déblais excédentaires
qui se vérifient ici : $OT = 40$



On notera que le point final (O) n'est pas sur la ligne de terre initiale LT.
Nous devons donc évacuer les déblais excédentaires vers un lieu de dépôt.
Nous allons étudier différents cas en fonction de la position du dépôt.

Epure de LALANNE - déblais excédentaires

différents cas de positionnement d'un dépôt

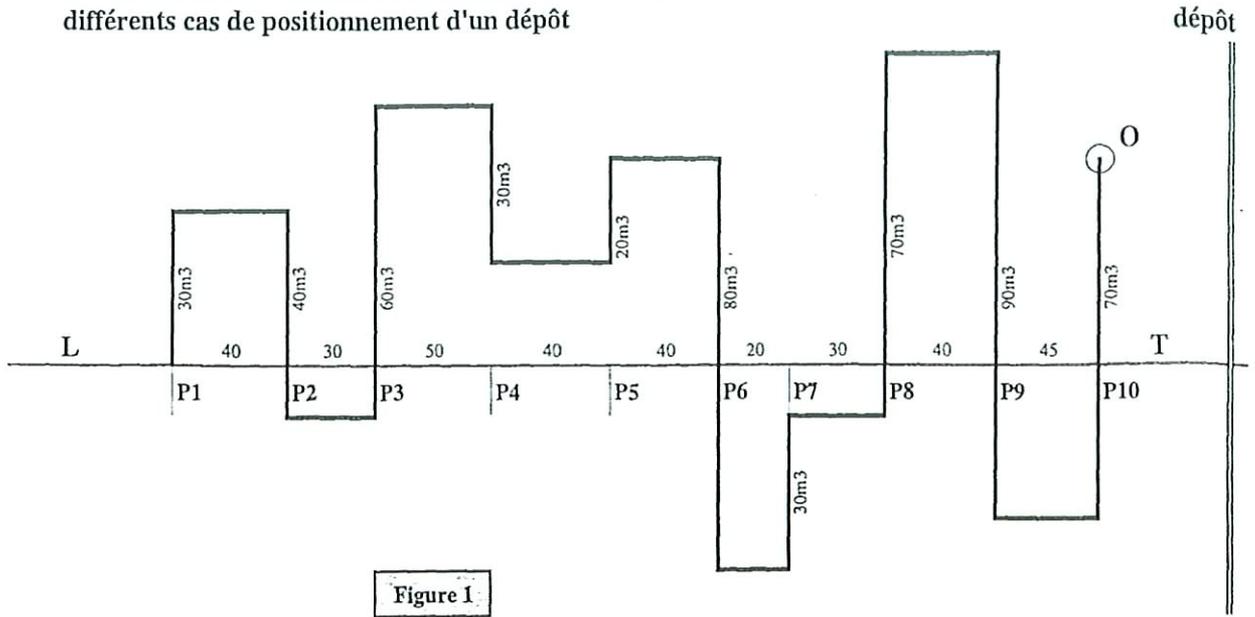


Figure 1

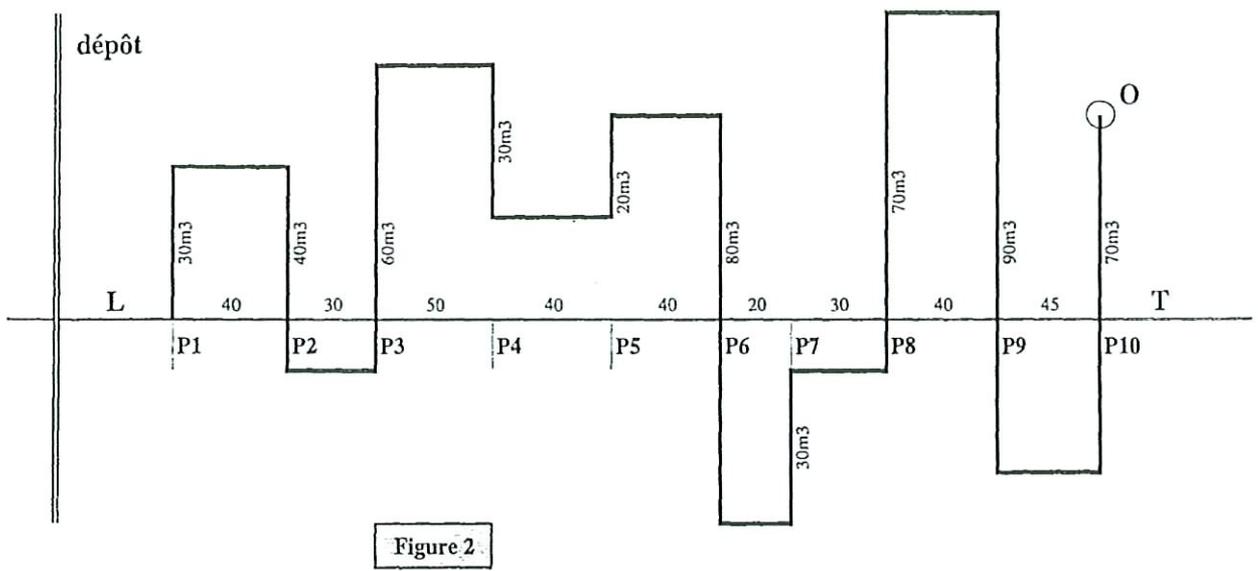


Figure 2

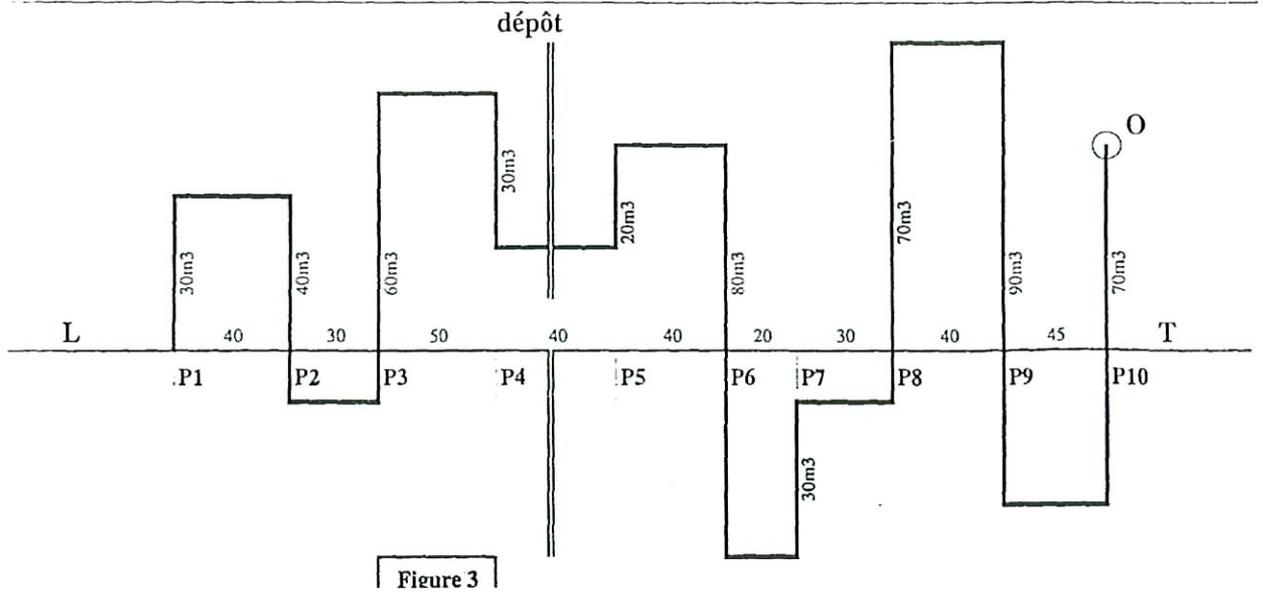


Figure 3

Excès de déblai / Dépôt à droite

Résultat : excès de déblais OT = 40 m³ → 40 m³ au dépôt

1. On considère le dépôt comme un profil comportant un remblai MN
2. On retombe sur le cas n°1 (déblais et remblais compensés)

Excès de déblais / Dépôt à gauche

La solution découle d'un raisonnement identique

1. Le dépôt est équivalent à un profil en remblai AB
2. L'épure se ferme de O... A sur la Ligne de Répartition des sens de transport (LR)

Constatation : En fonction du lieu de dépôt droite ou gauche, les transports sont très différents.

Excès de déblais / Dépôt unique à l'intérieur de l'épure

Considérer l'épure en deux parties

A gauche du dépôt

- on a un dépôt à droite
- ligne de répartition = ligne de terre

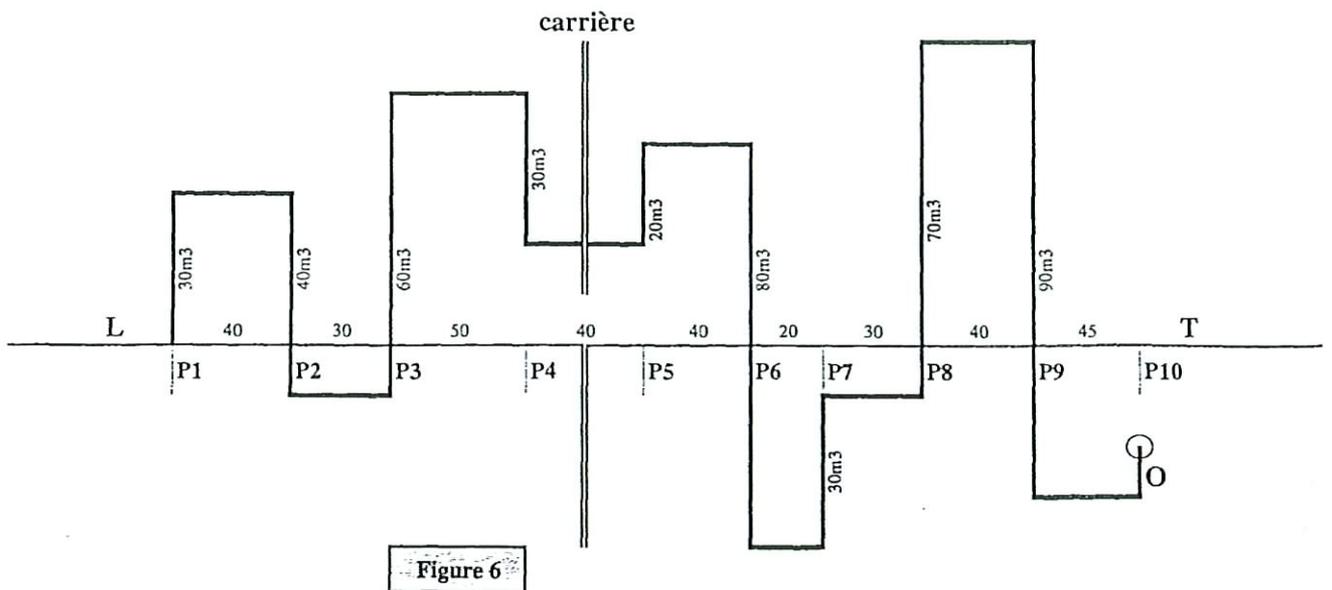
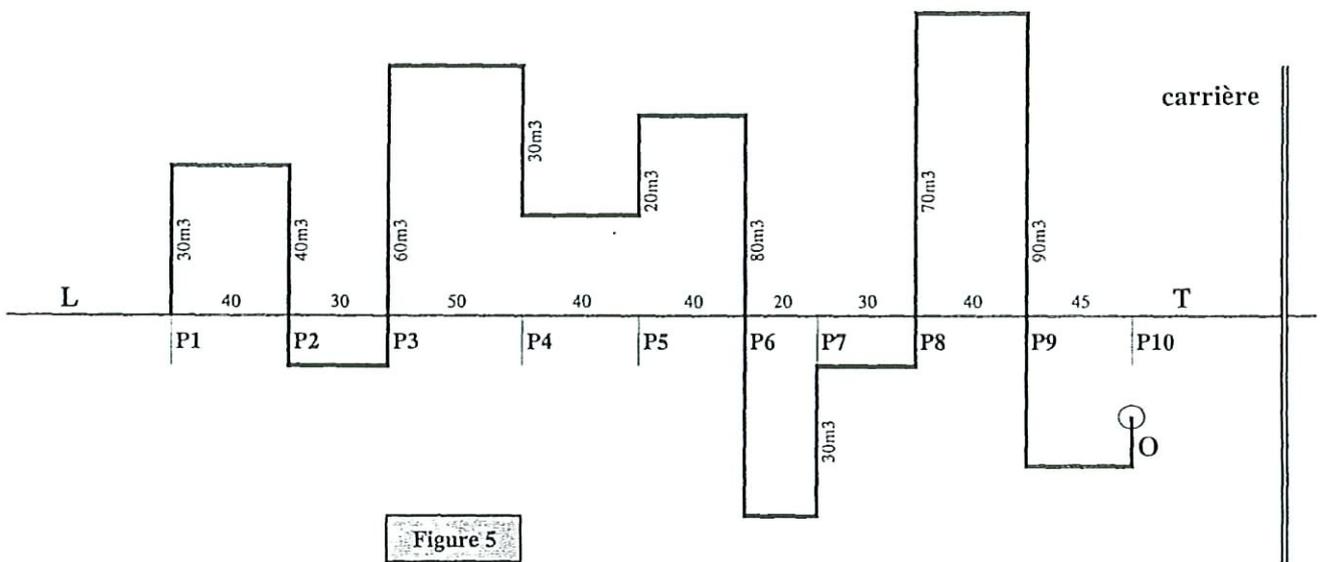
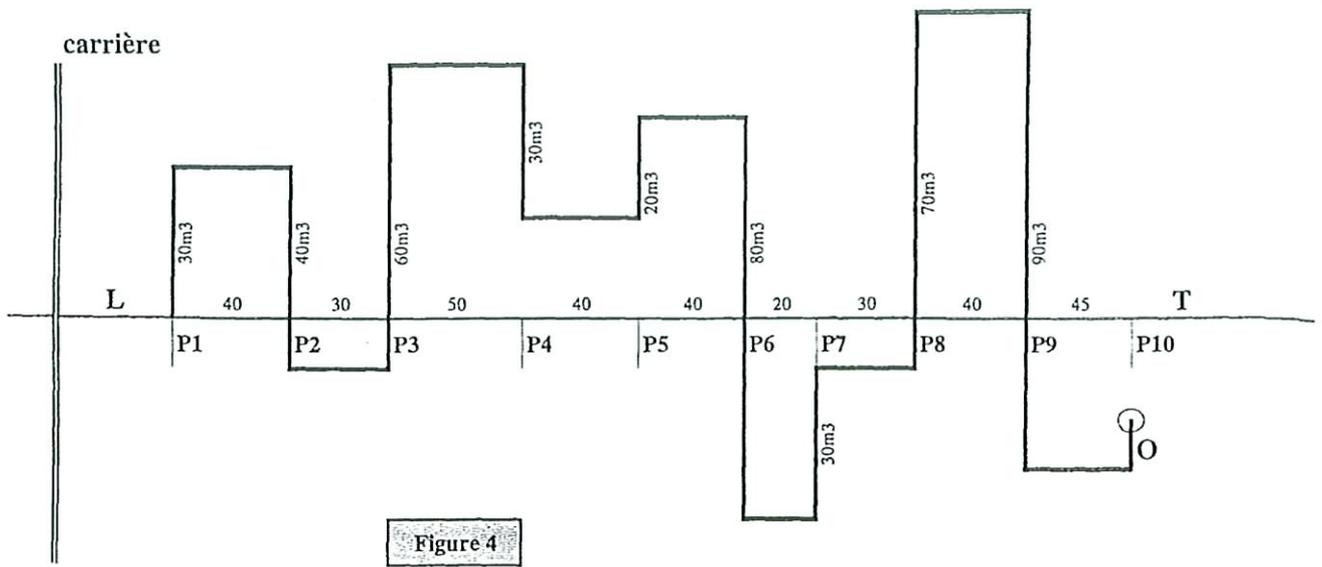
A droite du dépôt

- on a un dépôt à gauche
- ligne de répartition = ligne 0

On a une ligne de répartition finale disposée en échelon en montant à droite

Epure de LALANNE - remblais excédentaires

différents cas de positionnement d'une carrière ou d'un lieu d'emprunt



Excès de remblai / Emprunt à gauche

Résultat : excès de remblais OT = 30 m³ → 30 m³ d'emprunt

Même raisonnement

1. L'emprunt équivaut à un profil en déblai égal à l'excès de remblai AB
2. On obtient ainsi la Ligne de Répartition des transports LR

Excès de remblai / Emprunt à droite

La solution découle d'un raisonnement identique

1. L'emprunt est assimilé à un profil de déblai égal à l'excès de remblai MN
2. L'épure est donc fermée, déblais et remblais compensés

Excès de remblai / Emprunt unique à l'intérieur de l'épure

Même principe : considérer l'épure en deux parties

A gauche de l'emprunt

- on a un emprunt à droite
- ligne de répartition = ligne de terre

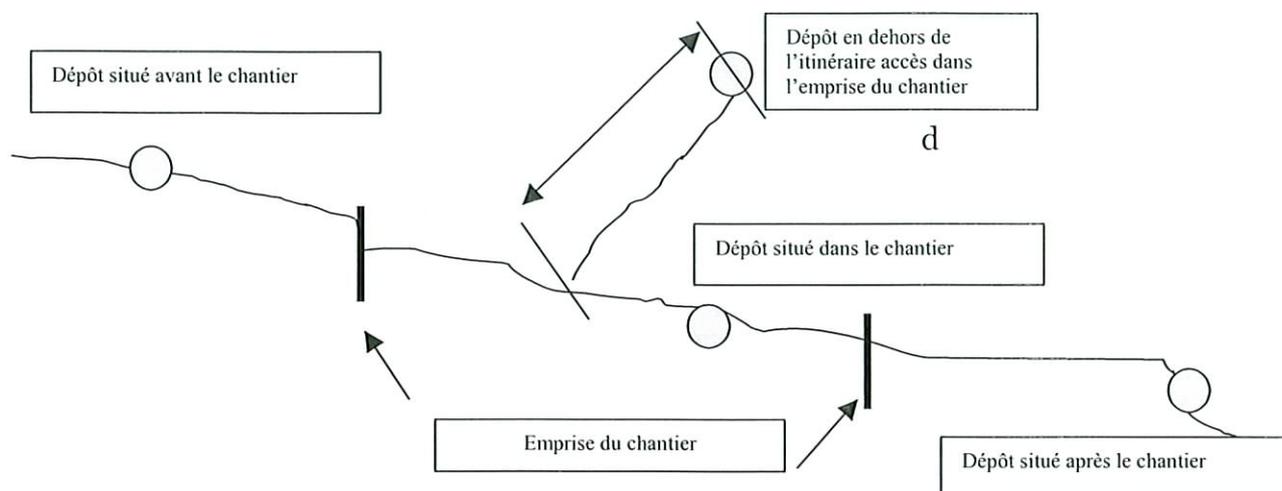
A droite de l'emprunt

- on a un emprunt à gauche
- ligne de répartition = ligne 0

On a une ligne de répartition finale disposée en échelon en descendant à droite

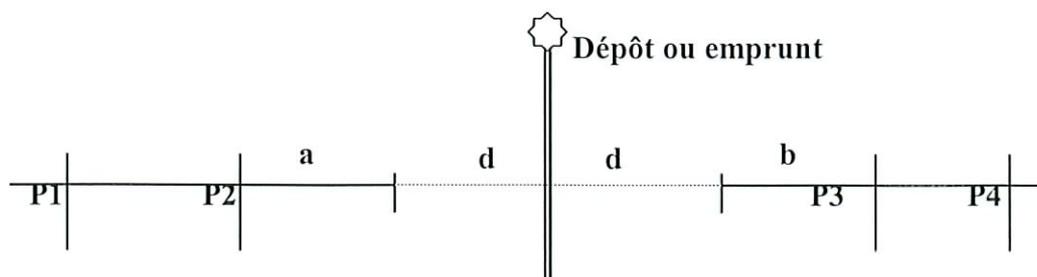
Dépôt ou emprunt en bordure du tracé

On peut rencontrer le cas où le dépôt ou l'emprunt dont on a besoin pour équilibrer le travail de terrassement est situé le long du tracé de la nouvelle route, mais à une certaine distance de celle-ci (cf. figure ci-dessous).



Dans ce cas de figure on fera entrer la distance d en ligne de compte en interrompant l'épure de Lalanne d'une distance d de chaque côté du dépôt ou de l'emprunt.

Bien entendu, il ne sera pas tenu compte de la longueur $2d$ pour des transports qui devraient se faire par exemple du profil 2 au profil 3.



On peut aussi adopter la disposition suivante

