

bibliothèque de l'institut de topométrie

**LES
TRAVAUX
PUBLICS**

**PAR
R.ALLARD ET G.KIÉNERT**



EYROLLES

INSTITUT DE TRAVAIL ET DE RECHERCHES
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CHEZ LE MEME EDITEUR

LES TRAVAUX

LES TRAVAUX PUBLICS

1 - Les travaux de construction des ouvrages	1
2 - Les travaux de réparation des ouvrages	2
3 - Les travaux de maintenance des ouvrages	3
4 - Les travaux de démolition des ouvrages	4
5 - Les travaux de transport des matériaux	5
6 - Les travaux de stockage des matériaux	6
7 - Les travaux de traitement des matériaux	7
8 - Les travaux de fabrication des matériaux	8
9 - Les travaux de mise en œuvre des matériaux	9
10 - Les travaux de contrôle des matériaux	10
11 - Les travaux de réception des ouvrages	11
12 - Les travaux de maintenance des ouvrages	12
13 - Les travaux de réparation des ouvrages	13
14 - Les travaux de démolition des ouvrages	14
15 - Les travaux de transport des matériaux	15
16 - Les travaux de stockage des matériaux	16
17 - Les travaux de traitement des matériaux	17
18 - Les travaux de fabrication des matériaux	18
19 - Les travaux de mise en œuvre des matériaux	19
20 - Les travaux de contrôle des matériaux	20

h° V
45107

CHEZ LE MEME EDITEUR

- MATHIVAT — *Construction par encorbellement des ponts en béton précontraint.*
- MATHIVAT - FENOUX - BOUGARD — *Procédés généraux de construction.*
2 - Fondations et ouvrages d'art.
3 - Travaux souterrains.
- GRATTESAT — *Conception des ponts.*
- COQUAND — *Routes. Circulation. Tracé. Construction.*
1 - Circulation. Tracé.
2 - Construction et entretien.
- JEUFFROY — *Conception et construction des chaussées.*
1 - Les véhicules, les sols, le calcul des structures.
2 - Les matériaux. Les matériels. Les techniques d'exécution des travaux.
- SAUTEREY - AUTRET — *Guide d'auscultation des chaussées souples.*
- LACROIX et FUENTES — *Traité de béton armé. (Additif règles B.A.E.L. 83).*
- U'TI — *Règles B.A.E.L. 83. Juillet 85.*

62

18862-6841-51-55-10

BIBLIOTHÈQUE DE L'INSTITUT DE TOPOMÉTRIE
DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

ISSN 0768-3529

1930

LES TRAVAUX PUBLICS

par

René ALLARD et Georges KIÉNERT

*Ingénieurs Divisionnaires
des Travaux Publics de l'État*

QUATRIÈME ÉDITION
revue et corrigée


EYROLLES

61, Boulevard Saint-Germain - 75005 Paris

1987

01 - 22-12-1986 - 36851

Un enseignement par correspondance a été établi par l'ÉCOLE CHEZ SOI d'après cet ouvrage.

Il se compose de séries de devoirs qui en faciliteront l'étude et permettront d'en tirer le meilleur profit.

Une documentation supplémentaire accompagne les séries de devoirs ; des conseils et des corrigés-types sont donnés par le correcteur.

Pour tous renseignements :

s'adresser à l'ÉCOLE CHEZ SOI
enseignement technique privé à distance
1, rue Thénard - 75240 Paris CEDEX 05

Si vous désirez être tenu au courant de nos publications, il vous suffit d'adresser votre carte de visite au :

Service « Presse », Editions EYROLLES,
61, Boulevard Saint-Germain
75240 PARIS CEDEX 05,

en précisant les domaines qui vous intéressent.
Vous recevrez régulièrement un avis de parution des nouveautés en vente chez votre libraire habituel.

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). »

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. »

© Editions EYROLLES, 1987



TABLE DES MATIERES

PREMIERE PARTIE

ÉTUDES COMMUNES A TOUS LES PROJETS

CHAPITRE PREMIER - Documents de base pour les études 3

Cartes et plans - Planimétrie et relief - Points cotés - Courbes de niveau
Vallées - Terrassements - Profil en long - Indications du profil en long -
Profil fictif - Profils en travers - Talus - Fossés - Banquettes - Calculs du
profil en travers - Méthode de Catto - Calcul par machines électroniques -
Vocabulaire technique officiel .

CHAPITRE II - Cubature et mouvement des terrassements 24

Calcul des volumes - Métré des terrassements - Tableau du mouvement
des terrassements - Épure de Lalanne - Établissement de l'épure - Ligne de
répartition des sens de transport - Moments de transport - Indication des
transports - Différents cas à envisager - Discussion de l'épure de Lalanne -
Règle de discussion - Exemple numérique - Achèvement du tableau du
mouvement des terrassements - Modes de transport des terrassements -
Foisonnement - Les différents sols - Cubature des terrassements pour les
projets de grande étendue : a) principe ; b) cubature ; c) mouvement des
terres - Exécution des terrassements - Vocabulaire des travaux publics.

DEUXIEME PARTIE

LA VOIRIE ROUTIERE

CHAPITRE III - Étude générale d'un tracé de route 73

Principes généraux - Étude sur la carte ; sur le plan - Caractéristiques
techniques en plan - Virages - Caractéristiques techniques en profil en long -
Réduction des déclivités dans les courbes - Caractéristiques des autoroutes -
Homogénéité des caractéristiques d'un tracé - Détermination définitive de
l'axe - Tracé en plaine ; en pays accidenté - Tracé théorique - Points de
passage - Tracé réel - Poursuite de l'étude - Choix entre les différentes
solutions - Dossier de l'avant-projet ; du projet d'exécution - Projets d'aéro-
ports.

CHAPITRE IV - Construction d'une route de rase campagne 95

A - Détails d'infrastructure -

Raccordements en profil en long - Distance de visibilité et de freinage - Visibilité dans les courbes ; aux sommets - Rayon de raccordement aux sommets : dans les creux - Application - Remarque sur les différents cas possibles - Dévers - Surlargeur dans les virages - Raccordements progressifs aux virages - Voie supplémentaire pour poids lourds - Garages et lacets en montagne - Carrefours de rase campagne - Carrefours entre voies importantes ; entre une voie principale et une voie secondaire ; entre voies secondaires - Carrefours à niveaux différents.

B - Détails de superstructure -

Profil en travers d'une route - Bombement de la chaussée - Largeur des chaussées - Pistes cavalières - Bornage et signalisation - Plantations - Éclairage -

CHAPITRE V - Les chaussées des routes 127

Vocabulaire technique officiel - Principes de la mécanique des sols - Compactage des sols - Portance d'un sol - Exécution des terrassements - Assainissement de la plateforme - Déglaisage et colmatage - Drainage - Solciment - Constitution des chaussées - Dimensionnement des chaussées - Constitution d'une chaussée empierrée - Couche de fondation (méthode ancienne) - Méthode ancienne de l'empierrement ordinaire - Avantages et inconvénients de l'empierrement ordinaire - Routes stabilisées - Béton d'argile - Emploi de graves (méthode moderne) - Le laitier de haut fourneaux - Couche de roulement - Les liants hydrocarbonés - Imprégnation pénétration et percolation - Répandages superficiels - Avantages et inconvénients des enduits de surface - Matériaux enrobés - Bétons bitumeux - Chaussées en béton de ciment - Chaussées pavées - Pistes d'aéroports.

CHAPITRE VI - Amélioration des routes existantes 160

Généralités - Déviations autour des localités - Suppression des passages à niveau - Aménagement des déclivités ; des sinuosités ; des virages - Visibilité aux carrefours ; dans les courbes ; aux sommets - Suppression des cassis et dos d'âne - Améliorations diverses - Études de trafic - Vocabulaire technique officiel.

TROISIEME PARTIE

LA VOIRIE URBAINE

CHAPITRE VII - Les rues en ville 175

Généralités sur la voirie urbaine - Tracé - Largeur - Pans coupés - Alignements dans les carrefours - Profil en long ; en travers - Passages souterrains et toboggans - Voies rapides urbaines - Impasses - Voies privées -

Cerce des chaussées - Chaussées épaulées - Profil en travers type - Raccordement des rues - Tracé des bordures circulaires - Passages souterrains pour piétons.

CHAPITRE VIII - La construction des rues 198

Bordures de trottoir - Emploi des nivelettes - Chaussées en ville. Généralités - Caniveaux - Chaussées empierrées - Revêtement hydrocarbonés - Béton de ciment - Pavages en pierre ; d'échantillon ; mosaïque ; grosse mosaïque - Entretien des pavages - Remarques sur les pavages - Trottoirs - Trottoir sablé ; pavé ; en dalles ; en asphalte coulé ou bitume ; en produits bitumineux ; cimenté - Trottoirs divers - Accessoires des trottoirs - Rues réservées aux piétons - Remarque générale.

CHAPITRE IX - Ouvrages accessoires des rues. 217

Assainissement des villes - Principes de dimensionnement d'un réseau - Réseaux privés - Canalisations publiques - Égouts - Bouches d'égout - Branchements de bouche - Bouches d'égout avec chambre à sable - Regards - Réservoirs de chasse - Bouches de lavage - Gargouilles - Bouches d'incendie - Becs de gaz - Lampadaires électriques - Plantations - Refuges - Passages pour piétons - Rues en escalier - Signalisation verticale et horizontale - Signalisation lumineuse - W.C. publics - Mobilier urbain - Parcs de stationnement - Canalisations souterraines ; aériennes. Les V.R.D.

QUATRIEME PARTIE

GÉNÉRALITÉS SUR LES OUVRAGES D'ART

CHAPITRE X - Les différentes catégories d'ouvrages d'art. 239

Définition de l'ouvrage d'art - Les différentes catégories d'ouvrages d'art

CHAPITRE XI - Règles générales applicables à l'étude
de tous les ouvrages 241

Travail préliminaire : Détermination des caractéristiques essentielles de l'ouvrage - Facteurs qui interviennent dans la détermination des caractéristiques essentielles de l'ouvrage.

CHAPITRE XII - Considérations générales sur la fondation
des ouvrages d'art. 244

Généralités

A - Les sols de fondation -

Conditions d'équilibre d'une fondation - Forces en présence - Qualités d'un sol de fondation - Renseignements pratiques sur les différents sols de fondation.

B - Types de fondations et procédés d'exécution -

Procédés utilisés pour apprécier un sol de fondation - Les différents types de fondation des ouvrages - Les procédés d'exécution des fondations.

CINQUIEME PARTIE
LES PONTS ET LES SOUTERRAINS

CHAPITRE XIII - Généralités sur les ponts.	265
Définition - Comment se différencient les ponts - Comment se choisit l'emplacement d'un pont - Ce qu'un pont doit éventuellement respecter : débouchés et gabarits - Comment choisir le type de pont à adopter.	
CHAPITRE XIV - Les ponts en maçonnerie	271
Description - Technologie - Caractéristiques géométriques des voûtes - Comment se déterminent les caractéristiques d'un pont en maçonnerie - Comment se vérifie un pont en maçonnerie - Description de quelques ponts en maçonnerie.	
CHAPITRE XV - Dispositions générales applicables à tous les ponts à poutres.	284
CHAPITRE XVI - Les ponts en béton armé	288
<i>I - Généralités -</i>	
Le béton - Constitution - Propriétés - Principe du béton armé - Les armatures - Contraintes admissibles dans les ouvrages en béton armé - Formes et caractéristiques des poutres et des dalles en béton armé	
<i>II - Description des ponts en béton armé -</i>	
Ponts à poutres droites - Ponts à poutres en arc encastré - Ponts à poutres en arc à deux articulations - Ponts à poutres en arc à trois articulations - Ponts à poutres «Bow-string» - Ponts à poutres «Cantilever» - Ponts à poutres à béquilles - Ponts autoroutiers - Les ponts-rails.	
CHAPITRE XVII - Les ponts en béton précontraint.	310
Généralités - Principe - Les phases pratiques de l'opération de précontrainte - Diversité des procédés de précontrainte par post-tension - Diversité des armatures de précontrainte - Les contraintes - La réalisation -	
CHAPITRE XVIII - Les ponts métalliques	321
<i>I - Généralités</i>	
A/ La matière - B/ Les éléments constitutifs des charpentes métalliques - C/ Les procédés d'assemblage de l'acier - D/ Les poutres métalliques - Profils, constitution et technologie - E/ Forme générale des poutres métalliques et caractéristiques géométriques - F/ Assemblages types des poutres en acier.	

<i>II - Description des ponts métalliques</i>	
Les ponts à poutres droites - Les autres types de ponts - Les ponts suspendus - Les ponts métalliques à dalle orthotrope - Les ponts-rails.	
CHAPITRE XIX - Les appuis des ouvrages et l'équipement des tabliers	
L'entretien des ouvrages en béton	338
Généralités - 1/ Les appuis - 2/ Les appareils d'appui - 3/ Les garde-corps	
4/ Les dispositifs de sécurité - 5/ Revêtement de chaussée - 6/ L'étanchéité	
7/ Les joints de chaussée - 8/ Les dalles de transition.	
CHAPITRE XX - La charpente en bois dans les ouvrages d'art	358
Généralités - La matière - Essences utilisées - Résistance des bois et	
contraintes autorisées - Formes des bois utilisés en charpente - Assemblage	
des éléments - La poutre en bois - Exemples de charpentes en bois - Le bois	
lamellé-collé.	
CHAPITRE XXI - Les souterrains	364
Généralités - Formes et caractéristiques des souterrains - Principes direc-	
teurs pour l'étude d'un souterrain.	
SIXIEME PARTIE	
LES SOUTÈNEMENTS	
CHAPITRE XXII - Notions générales sur l'équilibre des talus	375
La notion de talus naturel des terres - Revêtements et soutènements -	
Renseignements pratiques relatifs à l'angle φ des terres.	
CHAPITRE XXIII - Les revêtements	378
A - Les revêtements naturels -	
Principe - Description - Avantages et inconvénients.	
B - Les revêtements artificiels -	
Les perrés - Description - Avantages et inconvénients - Les revêtements	
en béton armé - Description - Avantages - Inconvénients.	
CHAPITRE XXIV - Les murs de soutènement	383
A - Les murs de soutènement en maçonnerie -	
Généralités - Stabilité des murs poids - Forces en présence - Recherche	
des contraintes de la maçonnerie - Comment se déterminent les caractéris-	
tiques d'un mur poids - Les profils des murs poids.	
B - Les murs de soutènement en béton armé -	
Description et stabilité des murs de soutènement en béton armé - Quel-	
ques cas particuliers de soutènement.	

CHAPITRE XXV - Les murs de quai	397
Généralités -	
I/ Les murs de quai fluviaux-	
II/ Les murs de quai maritimes.	

CHAPITRE XXVI - Les digues.	408
-------------------------------------	-----

SEPTIEME PARTIE

LES BARRAGES

Généralités sur les barrages	411
CHAPITRE XXVII - Les barrages régulateurs	413
Les barrages fixes - Les barrages mobiles.	
CHAPITRE XXVIII - Les barrages de chute	418
a/ Barrages de chute pour vallées larges.	
b/ Barrages de chute pour vallées étroites et encaissées entre des parois rocheuses.	

HUITIEME PARTIE

IMPLANTATION ET PIQUETAGE

CHAPITRE XXIX - Implantation et piquetage	423
---	-----



CHAPTER XXV - VOX ESTIMANDI 397

CHAPTER XXVI - VOX ESTIMANDI 404

PREMIERE PARTIE

ETUDES COMMUNES A TOUS LES PROJETS 417

DEUXIEME PARTIE

CHAPTER XXVII - VOX ESTIMANDI 424

CHAPITRE PREMIER

DOCUMENTS DE BASE POUR LES ETUDES

Les documents de base utilisés pour les études préliminaires sont les cartes ; ensuite, pour passer aux études des avant-projets sommaires, puis détaillés on utilise des documents à des échelles de plus en plus grandes au fur et à mesure qu'on avance dans les études et qu'on désire introduire plus de précision ; ce sont les plans.

Cartes

On réserve le nom de cartes aux documents établis à petite échelle et on choisit généralement le document à une certaine échelle telle qu'on puisse embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble de la région qui paraît intéressée par le projet. Par conséquent, suivant l'étendue de ce projet, on aura recours aux cartes à l'échelle du 1/200 000, du 1/100 000, du 1/50 000, du 1/25 000, du 1/20 000, ou enfin du 1/10 000, ces documents étant publiés par l'Institut Géographique National. On pourra aussi avoir recours à des cartes dressées par certaines administrations à l'échelle du 1/5 000.

Plans

Les plans sont des documents à échelle plus grande que les cartes, et ils n'existent pas toujours avant qu'on entreprenne l'étude demandée ; il faudra alors les établir spécialement à l'occasion de cette étude. Les échelles habituelles sont celles du 1/2 000, du 1/1 000, du 1/500 ; on utilise le 1/200 pour les plans d'alignement des rues, et les 1/100 et 1/50 pour les plans d'études des ouvrages d'art et des bâtiments.

On peut aussi se servir, lorsqu'ils auront fait l'objet de mises à jour modernes, des plans du service du Cadastre aux échelles du 1/5 000, du 1/2 500, du 1/1 250, du 1/1000 ou du 1/500, ces deux dernières échelles pour les quartiers bâtis des agglomérations. Enfin, il faut signaler les plans de ville au 1/2 000 préparés en vue de l'étude des plans d'urbanisme (plans d'occupation des sols P.O.S.).

On a généralement recours pour les études de travaux publics, aux échelles du 1/2 000 ou du 1/1000 pour les parties rurales, du 1/500 ou 1/200 pour les parties intéressant des zones urbaines.

Planimétrie et relief

Ce qui apparaît tout d'abord sur les cartes et les plans est la représentation de la surface du terrain, de tout ce qui y existe, routes, chemins, rivières, ruisseaux, bois, maisons, et qu'on appelle planimétrie.

Mais on a également besoin d'avoir une représentation sur le plan (à deux dimensions) du relief du terrain (troisième dimension), qu'on figure soit par points cotés, soit par courbes de niveau.

Points cotés

On détermine par les méthodes habituelles du nivellement direct ou indirect ou par la photogrammétrie, les altitudes d'un certain nombre de points. A côté de l'endroit nivelé, repéré par un point ou par une croix sur le plan, on indique un nombre exprimé en mètres et centimètres (quelquefois en décimètres seulement, d'autres fois mais plus rarement avec les millimètres) ; ce nombre est la cote du point.

Lorsqu'un projet intéresse le rivage de la mer, il faut savoir que le zéro des plans terrestres est le niveau moyen de la mer à Marseille d'où l'on est parti pour définir l'ellipsoïde terrestre sur la France. Ce zéro est différent du zéro des cartes marines, qui est l'altitude de la mer à marée basse, de telle sorte que les profondeurs de la mer indiquées sur ces cartes soient assurées à tout moment pour la navigation. Il y a donc lieu de prendre des précautions si l'on utilise en même temps des cartes terrestres et des cartes marines pour un projet de port maritime, ou pour une digue en mer par exemple.

Les points nivelés peuvent être placés sur le plan dans un ordre quelconque, parce qu'on les a choisis en fonction des ondulations du terrain lorsqu'on a procédé au nivellement ; ce sont des points semés. On peut aussi niveler les sommets des carrés d'un quadrillage général couvrant le plan ; on peut enfin combiner les deux méthodes, et compléter les points nivelés d'un quadrillage par quelques points semés tels que A, B

et C (fig. 1), qui figurent des points caractéristiques et des accidents (en altitude) du terrain.

La grandeur de la maille, ou côté du carré du quadrillage, dépend à la fois de la précision que l'on recherche dans la représentation altimétrique du terrain, et du caractère plus ou moins accentué du relief de la région. Dans un pays de plaine au relief peu accusé, on peut prendre des mailles de 50 m de côté ; si le relief est plus accentué, les mailles peuvent avoir 20, 10, ou même 5 m de côté.

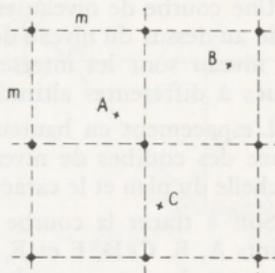


Fig. 1

Courbes de niveau

La figuration des points cotés sur un plan n'est pas une représentation facile à utiliser lorsqu'il s'agit de débiter une étude, puisqu'il faudrait lire en même temps un grand nombre de cotes et en faire la synthèse pour avoir une idée du relief dans une partie du plan.

Pour que le projeteur commence à travailler, il faut lui fournir un document qui lui donne une représentation immédiate du relief de la région ; il reviendra ensuite aux indications des points cotés lorsqu'il aura déjà avancé son étude et aura besoin d'une certaine précision.

Une représentation du relief du terrain plus commode que celle des points cotés, est obtenue par les hachures, utilisées seulement pour les cartes à petite échelle ; si elle donne une image avec des ombres, elle ne fournit pas d'indications précises utilisables pour les études. L'autre représentation du relief est celle fournie par les courbes de niveau, qui est directement exploitable pour les études de tracé, comme on le verra dans un chapitre ultérieur.

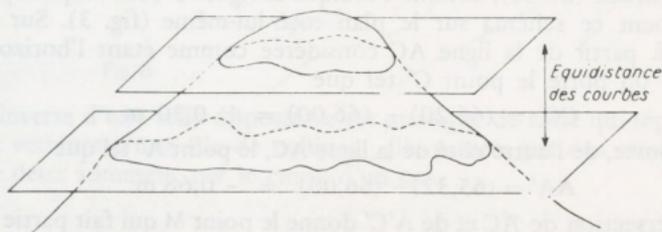


Fig. 2

Une courbe de niveau est une ligne qui joint les points de même altitude au-dessus du niveau de la mer. On peut encore dire que les courbes de niveau sont les intersections avec le terrain de plans horizontaux situés à différentes altitudes (fig. 2).

L'espacement en hauteur de ces plans horizontaux définit l'équidistance des courbes de niveau, qui peut être de 1, 2, 5, 10 m, suivant l'échelle du plan et le caractère plus ou moins accentué du relief.

Soit à tracer la courbe de niveau d'altitude 66 m dans la zone des points A, B, C, D, E et F, dont les cotes sont indiquées sur la figure 3. Cette courbe passe entre les points A et C, C et D, E et F.

Pour trouver le point de passage de la courbe entre les points A et C par exemple, on rabat le plan vertical passant par les points A et C par exemple, on rabat le plan vertical passant par les points A et C (fig. 4) et l'on voit apparaître l'intersection donnant le point M.

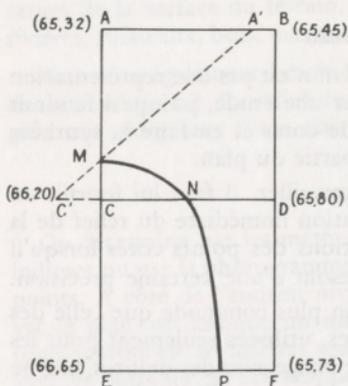


Fig. 3

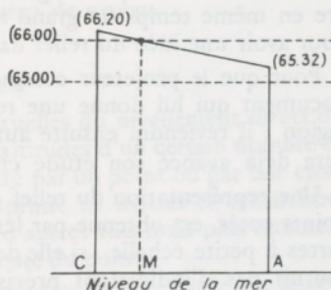


Fig. 4

En fait, il est plus simple de faire le rabattement autour de l'horizontale d'altitude (66,00), comme l'indique la figure 5 ; et l'on peut porter directement ce schéma sur le plan coté lui-même (fig. 3). Sur cette figure, à partir de la ligne AC considérée comme étant l'horizontale (66,00), on porte le point C' tel que

$$CC' = (66,20) - (66,00) = + 0,20 \text{ m}$$

et l'on porte, de l'autre côté de la ligne AC, le point A' tel que

$$AA' = (65,32) - (66,00) = - 0,68 \text{ m}$$

L'intersection de AC et de A'C' donne le point M qui fait partie de la courbe de niveau.

On réunit ensuite par une courbe tous les points M, N, P, etc...

Ces courbes, si le plan est assez étendu, doivent se refermer sur elles-mêmes (fig. 2) ; si elles aboutissent sur une paroi verticale telle que rochers ou murs, elles se referment le long de cette paroi.

Sur les sommets et dans les creux, on ajoute la cote et l'emplacement du point le plus élevé ou le plus bas ; au besoin, on retourne sur le terrain pour niveler les points intéressants qui auraient été omis ou pour supprimer une indécision.

La construction donnée ici est la construction théorique. Pratiquement on utilise des procédés plus rapides, ou encore on «file» la courbe c'est-à-dire qu'on relève son tracé directement sur le terrain.

Pour mémoire, on citera également les procédés scientifiques modernes d'acquisition de données numériques, leur traitement sur ordinateur et le tracé automatique des courbes de niveau.

Vallées

Dans les vallées, le long des rivières, les courbes présentent une disposition particulière, telle que celle indiquée par la figure 6.

La ligne en pointillé est celle le long de laquelle se rassemblent les eaux de ruissellement ; elle porte le nom de thalweg. C'est le long de cette ligne qu'on interpolera entre M et N la cote d'un point A.

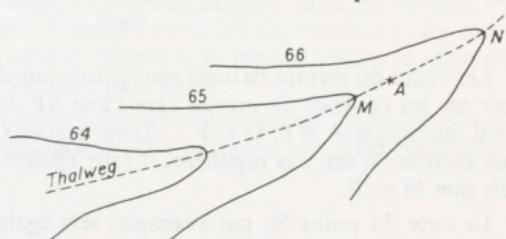


Fig. 6

L'inverse d'une telle disposition est une ligne de crête qui sépare les deux versants d'une file de collines ; elle passera par des sommets et, entre deux sommets, par le creux d'un col.

Terrassements

Supposons que le tracé du projet d'une route, d'une voie ferrée ou d'un canal, ait été fixé ; il n'est pas possible que le projet suive

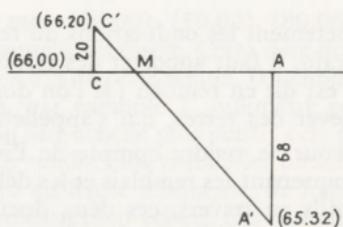


Fig. 5

exactement les ondulations du relief du terrain. Si l'on doit surélever le terrain, il faut apporter des terres qui s'appellent des remblais et le projet est dit en remblai ; si l'on doit abaisser le niveau du terrain, il faut enlever des terres, qui s'appellent des déblais ; le projet est en déblai.

Pour se rendre compte de l'importance du travail de terrassement comprenant les remblais et les déblais, on prépare le profil en long et les profils en travers, ces deux documents devant permettre le calcul des cubes de remblais et de déblais.

Profil en long

C'est une coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé.

Ce document indiquera d'une part le profil en long du terrain naturel (niveau actuel), donné soit par un nivellement direct sur le terrain, soit par interprétation et interpolation des courbes de niveau, et donnera d'autre part le profil en long du projet.

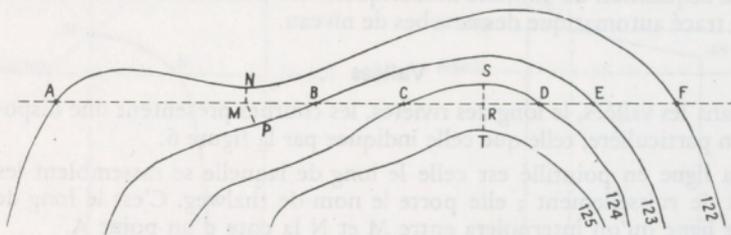


Fig. 7

Les cotes du terrain naturel sont prises soit directement sur le terrain, soit sur les courbes de niveau ; sur l'axe AF du projet (fig. 7), on relève ainsi les points A B C D E F ... Dans certains cas, lorsque la convexité des courbes n'est pas régulière, il faut également interpoler des points tels que M et R.

La cote du point M, par exemple, sera égale, approximativement, à :

$$(122,00) + 1,00 \text{ m} \times \frac{MN}{MN + MP}$$

Les interpolations doivent s'effectuer le long de la ligne de plus grande pente, soit P M N et T R S par exemple.

Le profil en long lui-même s'établit de la façon suivante (fig. 8 du dépliant page 21). On choisit un plan horizontal de référence situé à une

cote ronde au-dessus du niveau de la mer, (30,00), (50,00), (80,00), suivant les altitudes de la région dans laquelle on opère. Cette cote doit être inférieure à la cote du point le plus bas de cette région. On choisit ensuite une échelle pour les longueurs, par exemple 1 millimètre par mètre, ou la même échelle que le plan, ou une échelle plus petite, cela en fonction de la précision recherchée. Pour rendre plus visibles les ondulations du terrain qui sont toujours, sauf en haute montagne, de faible amplitude, on va exagérer le relief en prenant pour échelle des hauteurs une échelle 5, 10 ou 20 fois plus grande que l'échelle des longueurs, le facteur 10 étant celui qui est presque toujours adopté. Un système commode d'échelles est celui du 1/1000 pour les longueurs et du 1/100 pour les hauteurs.

Au-dessous de l'horizontale de référence, on dessine des cases de 10 ou 15 mm de hauteur qui, pour le profil en long d'un avant-projet détaillé ou d'un projet d'exécution, comportent les indications suivantes :

- 1) altitudes des points du terrain,
- 2) altitudes projetées de ces mêmes points,
- 3) distances partielles, c'est-à-dire entre deux points successifs,
- 4) distances cumulées depuis l'origine du profil jusqu'à chaque point,
- 5) numéros des profils en travers,
- 6) déclivités du projet,
- 7) longueurs des alignements droits, et pour les courbes, rayon, développement et angle au centre.

Le premier exemplaire est établi sur papier à dessin, ou plus commodément sur papier millimétré à trame assez claire pour ne pas gêner la lecture ultérieure du dessin et des cotes. Toutes les indications relatives au projet s'inscrivent en rouge, c'est-à-dire la ligne du profil projeté, les cotes du projet, les déclivités du projet, enfin les alignements et les courbes. Pour des dessins sur calque servant à la reproduction, la ligne du profil projeté sera figurée en trait plus épais.

Lorsqu'il s'agit de profils en long simplifiés dressés pour un avant-projet sommaire, on peut supprimer une partie de ces indications et on aurait :

- 1) altitudes du terrain,
- 2) altitudes du projet,
- 3) distances partielles et cumulées dans la même case,
- 4) déclivités du projet.

Indications du profil en long

On appelle point haut un sommet formé par deux déclivités successives de sens contraires ; par exemple, le terrain au profil 2, également le projet au profil 3 (fig. 8 en dépliant).

Inversement, les points bas sont les creux, comme celui présenté par le terrain au profil 3 ; aux points bas se rassemblent les eaux dont on verra par la suite les moyens d'évacuation.

Supposons que les éléments pour le tracé de la ligne rouge du projet soient connus, c'est-à-dire les cotes (123,20), (124,40) et (123,85) des profils 1, 3 et 4 ; il reste à compléter le profil en long par un certain nombre d'éléments à calculer.

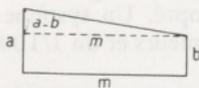


Fig. 9

On calcule tout d'abord les déclivités. Une déclivité s'exprime par la valeur de la tangente de l'angle que fait le terrain sur l'horizontale ; elle aura donc pour valeur le quotient $\frac{a-b}{m}$ (fig. 9),

c'est-à-dire la différence des cotes, divisée par la distance. Sur le profil en long (fig. 8), la première déclivité, qui est une rampe, puisqu'elle se présente en montant depuis l'origine du dessin, aura pour valeur

$$\frac{124,40 - 123,20}{88,15} = 0,0136$$

et on l'indiquera de l'une des manières suivantes, soit :

rampe de 0,0136 m par mètre sur 88,15 m

rampe de 1,36 cm par mètre sur 88,15 m

rampe de 1,36 % sur 88,15 m

ou encore :

$$\frac{0,0136}{88,15}$$

Cette dernière forme abrégée, comporte un trait tiré dans le sens de la déclivité, \nearrow pour une rampe, \searrow pour une pente. Le nombre du dessus est la tangente de l'angle ; celui du dessous, la longueur sur laquelle règne la déclivité.

Dans les chemins de fer, on indique les déclivités par des panneaux en métal, implantés le long des voies, et portant l'indication des déclivités en millimètres par mètre. Au profil 3, par exemple, on implanterait sur le terrain un poteau portant les indications suivantes :

13,6 \nearrow 88,15	\searrow 30 18,30
-----------------------------	------------------------

A Paris, les tunnels du Métropolitain portent des plaques émaillées avec les indications de ce genre.

On a toujours intérêt à pousser le calcul des déclivités jusqu'à la 4^{ème} décimale, c'est-à-dire jusqu'au dixième de millimètre par mètre. En effet, pour calculer les cotes du projet aux points intermédiaires, tels que le profil 2, on fera l'opération :

$$0,0136 \times 31,20 = 0,424 \text{ m}$$

et la cote du projet au profil 2 sera :

$$123,20 + 0,424 = 123,624 \text{ soit } 123,62 \text{ m}$$

en arrondissant au centimètre, ce que l'on fait généralement. En ne prenant que 3 décimales pour la déclivité, c'est-à-dire 0,013 ou 0,014, on aurait trouvé une cote erronée de 2 cm au profil 2.

Après avoir calculé toutes les déclivités et les cotes du projet à tous les profils, on indique les différences entre terrain et projet, qui donneront les hauteurs des déblais et des remblais, et l'on inscrit 1,51 m (en rouge) au profil 2, en dessous pour indiquer un déblai (projet en dessous du terrain) et 1,55 m au-dessus du profil 3 pour indiquer un remblai.

On indique par une teinte jaune la partie comprise entre la ligne terrain et la ligne du projet ou existent des déblais, soit sur la figure 8, la partie entre P.1 et P.F., et par une teinte carmin, la partie en remblai, par conséquent entre P.F. et P.4. Ces teintes sont remplacées sur le calque, en vue de la reproduction, par des hachures ou des trames différentes pour les déblais et pour les remblais.

La dernière case comporte la longueur des alignements droits, et pour les virages : le rayon de la courbe, le développement de l'arc de cercle, et l'angle au centre (angle supplémentaire de l'angle que forment les tangentes).

Pour le profil en long d'un projet d'exécution, on portera en trait continu le profil du projet dans l'axe de la chaussée terminée, et en trait tireté un second profil, parallèle au précédent, indiquant le profil à réaliser au moment des terrassements, permettant de placer ensuite l'épaisseur des couches de matériaux constituant la chaussée. Les hauteurs des terrassements, remblais ou déblais, sont portées en fonction de la ligne tiretée du fond de la chaussée, dite ligne du fond de forme ; à cet effet, on pourra ajouter une case au profil en long, adjacente à celle donnant les altitudes du projet, qui sera celle des altitudes du fond de forme.

Profil fictif

C'est le profil situé au point de rencontre de la ligne du terrain naturel et de la ligne du projet. On verra plus loin que son emplacement a une influence dans le volume des terrassements ; il conviendra donc, dans l'avant-projet détaillé et dans le projet d'exécution, de considérer

comme ligne du projet, non le profil en long de la chaussée terminée, mais le profil en long du fond de forme, comme indiqué ci-dessus.

On indique ce profil par les lettres P.F. et on le place en longueur par rapport aux deux profils réels voisins. Il n'est pas nécessaire de calculer l'altitude du profil fictif.

La figure 10 indique la façon dont se présente un profil fictif. Dans les deux triangles semblables, on a :

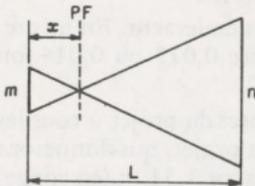


Fig. 10

$$\frac{x}{m} = \frac{l - x}{n} = \frac{x + (l - x)}{m + n}$$

ou

$$\frac{x}{m} = \frac{l}{m + n}$$

d'où

$$x = \frac{ml}{m + n}$$

Il est inutile de calculer les P.F. sur un profil en long sommaire d'avant-projet ; ils ne servent que pour le calcul du volume des terrassements auquel on ne procède généralement pas dans un avant-projet.

Dans la figure 8, le calcul de la position du P.F. est, par rapport à P.2 (pour simplifier on n'a pas distingué dans ce premier exemple la ligne de la chaussée terminée et celle du fond des terrassements) :

$$x = \frac{1,51 \times 56,95}{1,51 + 1,55} = 28,103 \text{ m soit } 28,10 \text{ m}$$

on peut vérifier en calculant par rapport à P.3

$$x' = \frac{1,55 \times 56,95}{1,51 + 1,55} = 28,847 \text{ m soit } 28,85 \text{ m}$$

et on a bien

$$28,10 \text{ m} + 28,85 \text{ m} = 56,95 \text{ m}$$

distance entre P.2 et P.3.

Profils en travers

Alors que le profil en long est une coupe verticale du terrain suivant l'axe de l'ouvrage projeté, les profils en travers sont des coupes transversales, menées selon des plans verticaux perpendiculaires à l'axe de la route projetée.

Il est habituellement d'usage de rabattre les profils en travers vers l'origine de la route. A ce sujet, il faut ouvrir une parenthèse. Lorsqu'on

parcourt une route à partir de l'origine (Paris, par exemple), le côté droit de la route est celui qui est à la droite du promeneur, et le côté gauche à sa gauche (fig. 11). En rabattant le profil en travers vers l'origine, le dessinateur doit se retourner vers l'origine de la route, à l'envers du promeneur ; il aura donc le côté droit de la route à sa gauche, et inversement. Il en résulte que le côté droit de la route figurera sur la gauche du profil en travers, et le côté gauche, sur la droite.

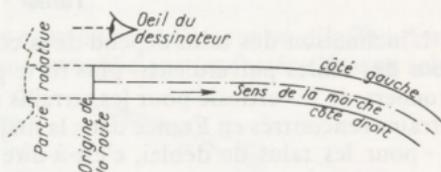


Fig. 11

On adopte le plus souvent pour les profils en travers l'échelle du 1/100, c'est-à-dire 1 centimètre par mètre, et l'on garde la même échelle en hauteur et en longueur, pour conserver leurs vraies pentes aux talus (voir plus loin).

Les profils en travers comportent les indications suivantes :

- 1) horizontale de référence avec son altitude,
- 2) altitudes du terrain,
- 3) altitudes du projet,
- 4) distances (projet),
- 5) distances (terrain).

Comme sur le profil en long, sur la minute dessinée sur papier à dessin ou sur papier millimétrique, toutes les indications du projet sont portées en rouge, les parties en déblai peuvent être teintées ou hachurées en jaune et les parties en remblai en carmin. Sur un calque destiné au tirage, la ligne du projet est renforcée et les sections de terrassement hachurées ou tramées de deux façons différentes pour distinguer les déblais et les remblais, comme sur le profil en long.

La figure 12 (en dépliant) est le dessin du profil en travers n° 1 correspondant au profil en long de la figure 8, et tel qu'il se présente avec les éléments dont on dispose en premier lieu : largeur de la plateforme de la route (6 m), fossés, talus, altitudes sur l'axe du terrain et du projet relevés sur le profil en long, et altitudes de points du terrain de part et d'autre de l'axe. Pour simplifier, on a considéré ici le niveau de la chaussée terminée et la plateforme de la route, horizontale. On verra par la suite que cette plateforme comprend une chaussée bombée et des accotements ou des trottoirs présentant une pente transversale. Quand il ne s'agit pas du projet d'exécution qui requiert de la précision, on peut considérer une plateforme qui soit horizontale à une cote moyenne entre le fond du terrassement de la chaussée (fond de forme) et les accotements ou trottoirs.

La plateforme est raccordée de chaque côté au terrain naturel par des plans inclinés appelés talus, dont on arrête le dessin dès que ce plan incliné rencontre la ligne du terrain naturel.

Talus

L'inclinaison des talus dépend de la cohésion des sols ; elle sera faible pour des sables pulvérulents, plus forte pour les bons terrains, et se rapprochera de la verticale pour les terrains rocheux non fracturés. Pour les terrains rencontrés en France dans la majorité des cas, on prend :

- pour les talus de déblai, c'est-à-dire lorsque la route est située au-dessous du niveau du terrain, comme dans la partie gauche du dessin de la figure 12, la pente est de 50 grades (45 degrés). On désigne cette inclinaison par la fraction 1/1 signifiant 1 de base pour 1 de hauteur.

- pour les talus de remblai, lorsque la route est au-dessus du terrain, partie droite du dessin, (fig. 12), l'inclinaison est dite à 3/2, c'est-à-dire à 3 de base pour 2 de hauteur ; la pente trigonométrique est ainsi de 2/3 ou 0,666...

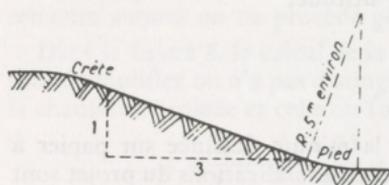


Fig. 13

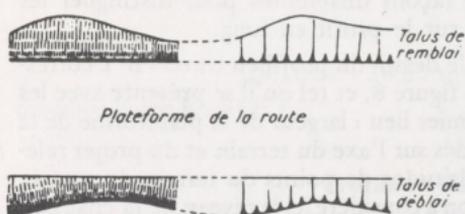


Fig. 14

Ces inclinaisons sont fortes et dans les parties où l'on recherche un aspect plus agréable, en bordure des autoroutes, dans les stades et les parcs, on dessine des talus plus adoucis, à 2/1, 3/1 ou 4/1 et dont les angles supérieur et inférieur sont arrondis. Cette inclinaison plus agréable à l'œil a l'inconvénient de faire occuper au talus une largeur plus importante en plan (fig. 13).

L'échelle des hauteurs étant la même que celle des longueurs, on voit que les talus sont sur les profils en travers représentés avec leurs vraies pentes, tandis que les inclinaisons sont fortement déformées sur les profils en long.

Sur le plan, on représente l'emplacement du talus par une ligne indiquant la limite de ce talus, par conséquent soit le pied du talus de remblai, soit la crête du talus de déblai.

La figure 14 donne les deux représentations différentes adoptées pour le dessin des talus, les hachures épaisses étant toujours placées à la crête des talus c'est-à-dire dans le haut de ceux-ci.

Fossés

Ils sont destinés à recevoir les eaux de ruissellement ou d'infiltration venant du terrain supérieur. L'eau recueillie par les fossés s'évacue soit par infiltration dans le fond du fossé, soit, si le terrain est imperméable, par écoulement et dans ce cas on doit donner une pente longitudinale au fossé pour diriger les eaux vers un point susceptible de les absorber : ruisseau, lac, ou bassin de retenue, d'infiltration et d'évaporation.



Fig. 15

Si la route est en déblai, il y a obligation de prévoir un fossé (fig. 15) ; il peut être indiqué dans ce dernier cas de prévoir un fossé de crête qui empêchera les eaux de ruisseler sur le talus et d'en raviner la surface (fig. 16) ; les eaux du fossé de crête seront conduites au fossé ordinaire

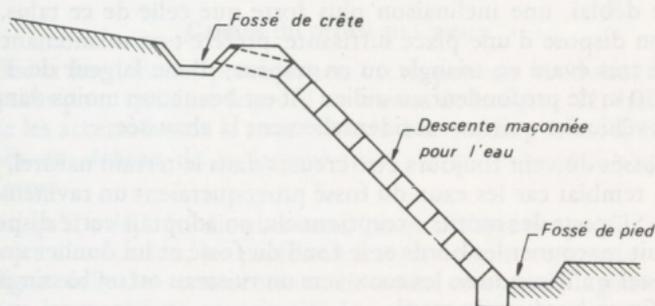


Fig. 16

de la route par des descentes maçonnées, de telle sorte que des infiltrations ne puissent pas se produire dans la masse du talus de déblai ce qui risquerait de le faire ébouler.

Si la route est en remblai, le fossé est généralement inutile, à moins que le terrain ne présente une pente marquée vers le talus de remblai (fig. 17).

Les fossés peuvent avoir différentes formes et différentes dimensions. Les anciens fossés, d'une largeur d'ouverture de 1 m ou 1,50 m (fig. 18) avaient des bords inclinés à 50 grades ; ils étaient creusés, entretenus et

reformés à la main. Suivant la plus ou moins grande quantité d'eau à écouler, on prenait le type le plus petit ou le plus grand. Mais depuis la mécanisation des travaux, pour permettre l'exécution et le curage du fossé par la lame inclinée d'un engin mécanique, on préfère le fossé dont la section est un triangle rectangle, le sommet vers le bas, la pente la plus adoucie étant du côté de l'axe de la route.

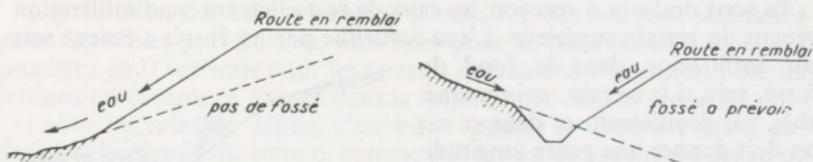


Fig. 17

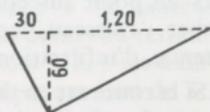
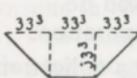
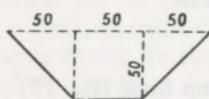


Fig. 18

Ce dernier type a cependant l'inconvénient de présenter, du côté du talus de déblai, une inclinaison plus forte que celle de ce talus, aussi, quand on dispose d'une place suffisante, préfère-t-on maintenant tracer un fossé très évasé en triangle ou en trapèze, d'une largeur de 3 à 4 m pour 0,50 m de profondeur au milieu ; il est beaucoup moins dangereux pour les véhicules quittant accidentellement la chaussée.

Les fossés doivent toujours être creusés dans le terrain naturel, jamais dans un remblai car les eaux du fossé provoqueraient un ravinement du remblai. Si, pour des motifs exceptionnels, on adoptait cette disposition on devrait maçonner les bords et le fond du fossé et lui donner un profil en long tel qu'il conduise les eaux vers un ruisseau ou un bassin préparé à cette fin en bordure du tracé.

Enfin, il faut placer le fossé à une altitude telle que le niveau envisagé de l'eau soit inférieur à l'altitude du fond de forme de la chaussée. On réalise ainsi le drainage de la plateforme, alors que, dans le cas contraire, le fossé amènerait de l'humidité dans le corps de la chaussée et donnerait à celle-ci une mauvaise tenue.

Banquettes

Une banquette est une petite levée de terre qu'on place en haut des talus de remblai, lorsque ceux-ci atteignent une hauteur importante, 1,50 m à 2 m, pour assurer la sécurité de l'usager ; leur bord vers le talus

a la même inclinaison que celui-ci, c'est-à-dire 3 sur 2 ; il existe deux types illustrés par la figure 19, caractérisés par les inclinaisons différentes du côté de la route.

On exécute également des dés maçonnés reliés par des barres de fer, ou des murettes continues en maçonnerie. Ces dispositions ont l'avantage de prendre moins de largeur dans les endroits difficiles (routes de montagne).

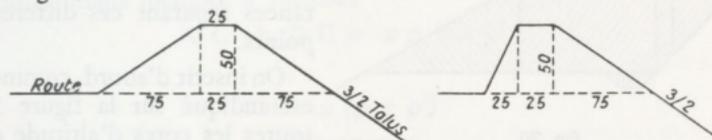


Fig. 19

Pour assurer une meilleure sécurité, on place sur les autoroutes et les routes très importantes des glissières de sécurité, en tôle profilée d'acier ou des barrières de sécurité, petits murets en béton (voir p. 346 et 347), qui empêchent les véhicules de tomber notamment en bas des talus de remblai, ou qui isolent la circulation des obstacles fixes tels que portiques de signalisation ou piles et culées des ponts.

Calculs du profil en travers

Utilisant les données précédentes, on va pouvoir conduire les calculs nécessaires pour terminer le profil en travers de la figure 12, étant entendu que les accessoires de la route (fossés, banquettes, talus) doivent être dessinés en dehors de la largeur utile de la route, qui s'appelle la plateforme.

Ainsi qu'il a déjà été dit plus haut, lorsqu'il s'agit des profils définitifs du projet d'exécution, les profils en travers doivent comporter le dessin de la ligne réelle des terrassements, en tenant compte de la place à réserver pour les matériaux constitutifs de la chaussée et des pentes transversales de la chaussée et des bas-côtés. Ici, à titre de premier exercice d'entraînement, on a simplifié le dessin des figures 12 et 23 (voir dépliant) en y faisant figurer une plateforme horizontale à l'altitude de l'axe de la chaussée terminée.

Le profil en travers est destiné à permettre le calcul de la surface comprise entre la ligne rouge du projet et la ligne noire du terrain naturel. Pour cela, mettant à part les fossés et banquettes qui ont une section constante d'un profil à l'autre, on mène des ordonnées par tous les points de changement de pente du terrain naturel et par tous les points de changement de pente (en travers) du projet. On divise ainsi par des lignes verticales (fig. 20) la surface à calculer en surfaces élémentaires

qui seront des triangles et des trapèzes dont il s'agit maintenant de calculer les éléments : bases et hauteurs.

Il faut pour cela calculer et inscrire, d'une part toutes les cotes du terrain à chaque changement de pente du projet, et d'autre part toutes les cotes du projet à chaque changement de pente du terrain naturel, enfin calculer les distances séparant ces différents points.

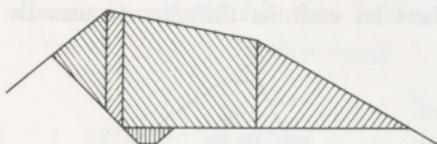


Fig. 20

On inscrit d'abord, comme il est indiqué sur la figure 12, toutes les cotes d'altitude qui résultent des données, nivellement du terrain, cote du projet prise sur le profil en long, et on inscrit les hauteurs de remblai et de déblai qui résultent de ces données.

On résout ensuite de proche en proche, en partant de l'axe, les petits problèmes qui se posent, en appliquant par exemple la formule déjà étudiée

$$x = \frac{ml}{m+n}$$

donnant la solution de la figure 10.

Le plus souvent, on résout les figures des profils en travers par les formules des pentes

Soient (fig. 21) deux pentes de même sens p et p' , qui déterminent sur une verticale $A B C$ un segment

$$A B = m$$

$$O C = x$$

on a :

$$A C = O C \operatorname{tg} \alpha$$

$$B C = O C \operatorname{tg} \beta$$

ou encore

$$A C = x p$$

$$B C = x p'$$

en soustrayant membre à membre

$$A C - B C = x p - x p'$$

ou

$$A B = m = x (p - p')$$

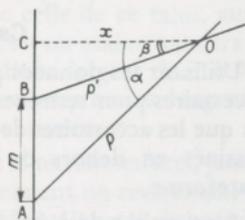


Fig. 21

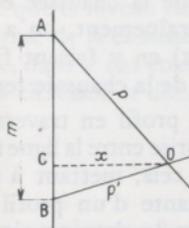


Fig. 22

d'où

$$x = \frac{m}{p - p'}$$

Avec deux pentes dirigées en sens contraires (fig. 22), on écrit :

$$A C = x p$$

$$B C = x p'$$

en additionnant membre à membre

$$A C + B C = x p + x p'$$

ou

$$m = x (p + p')$$

d'où

$$x = \frac{m}{p + p'}$$

Revenant à la figure 12, on voit qu'on a immédiatement les éléments du trapèze D E (suivre aussi sur la figure 23).

Passer ensuite au point C pour y calculer l'altitude du terrain, ce point est à 0,50 m de D, et la différence de niveau sera

$$0,50 \frac{(124,00) - (123,65)}{2,00} = 0,09$$

et son altitude

$$(123,65) + 0,09 = (123,74)$$

on aura donc un déblai de

$$(123,74) - (123,20) = 0,54 \text{ m}$$

On calcule maintenant la hauteur du triangle B C.

La pente du terrain est

$$\frac{(124,00) - (123,65)}{2,00}$$

qu'on a déjà calculée ci-dessus, soit 0,175 ; la pente du talus du projet est 1, et l'on a :

$$x = \frac{m}{p - p'} = \frac{0,54}{1 - 0,175} = 0,65 \text{ m}$$

On a ainsi tous les éléments du demi-profil, éléments qu'on inscrit sur le dessin (fig. 23).

De l'autre côté de l'axe E, on cherche l'éloignement du point F. La pente du terrain est

$$\frac{(123,95) - (121,45)}{6,00} = 0,417$$

la distance à l'axe du point F est

$$x = \frac{m}{p + p'} = \frac{0,75}{0,417 + 0} = 1,80 \text{ m}$$

Ensuite l'altitude du terrain au point G est

$$(123,95) - 3,00 \times 0,417 = (122,70)$$

ce qui donne en G un remblai de

$$(122,70) - (123,20) = 0,50 \text{ m}$$

La distance des points F et G est

$$3,00 - 1,80 = 1,20 \text{ m}$$

Enfin, la distance des points G et H est

$$x = \frac{m}{p - p'} = \frac{0,50}{0,667 - 0,417} = 2,00 \text{ m}$$

la pente du talus à 3/2 est en effet

$$p = \frac{2}{3} = 0,667$$

On a ainsi tous les éléments pour calculer les surfaces.

On peut remarquer qu'il est inutile de calculer les altitudes des points de rencontre des talus avec le terrain (points B et H).

La figure 23 (en dépliant) montre le profil en travers terminé, avec les calculs des surfaces de déblai et de remblai.

Les calculs peuvent se faire à la règle à calculer, mais en y apportant un certain soin. Si l'on n'a que rarement plus de trois chiffres significatifs dans les longueurs, les pentes et les hauteurs, il faut cependant être certain du dernier chiffre pour donner le centimètre dans les dimensions, et le décimètre carré dans les surfaces, soit deux décimales après le mètre ou le mètre carré.

Lorsqu'on a une série de profils en travers à calculer, on peut employer une machine appelée planimètre. On parcourt le contour de la surface de déblai avec l'index de l'appareil ; un cadran indique un certain nombre qu'on multiplie par une constante en fonction de l'échelle du dessin, et on obtient la surface. On en fait autant et séparément bien entendu, pour les surfaces de remblai.

Enfin, il faut noter qu'on peut se dispenser de séparer les surfaces à gauche et à droite de l'axe, bien que le point sur l'axe marque à peu près toujours une brisure dans les pentes du terrain naturel et constitue donc une séparation dans les figures dont on calcule la surface.

Fig. 8.

Echelles

Longueurs p.m.

Hauteurs p.m.



Fig. 8.

Echelles
 Longueurs p.m.
 Hauteurs p.m.

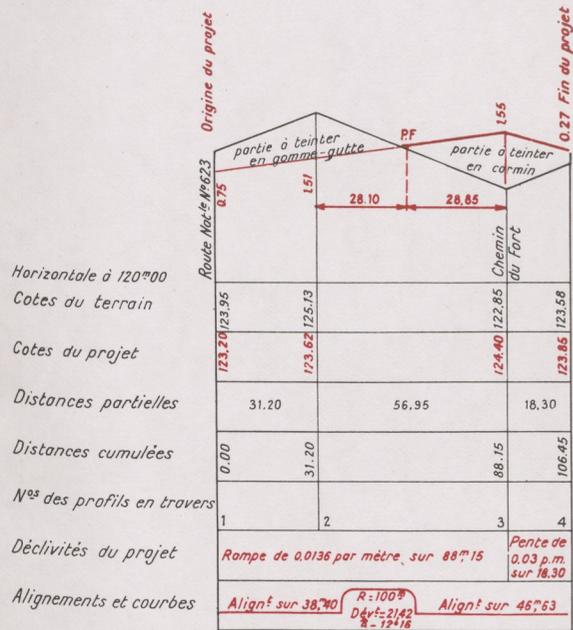


Fig. 12.

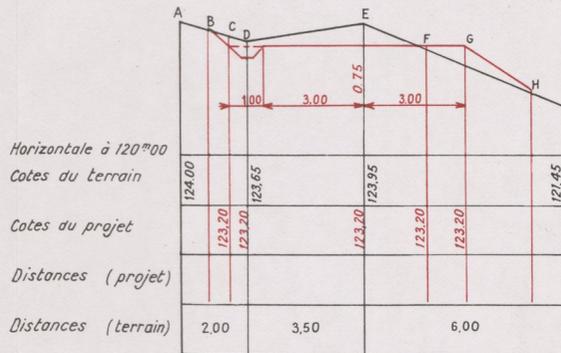
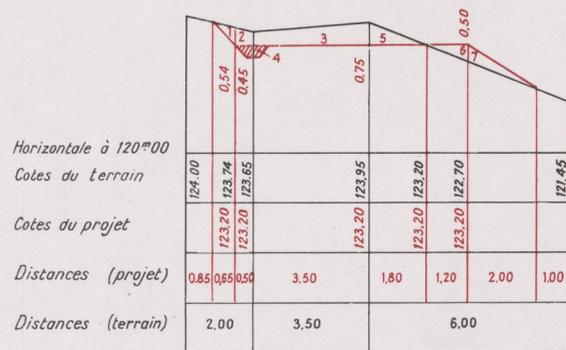


Fig. 23.

Remblais	Déblais	Remblais	Déblais
Neant	Triangle 1	Triangle 6	Triangle 5
	$\frac{0,54 \times 0,65}{2} = 0,18$	$\frac{0,50 \times 1,20}{2} = 0,30$	$\frac{0,75 \times 1,80}{2} = 0,68$
	Trapèze 2	Triangle 7	
	$\frac{0,54 + 0,45}{2} \times 0,50 = 0,25$	$\frac{0,50 \times 2,00}{2} = 0,50$	
	Trapèze 3	Total	0,80
	$\frac{0,45 + 0,75}{2} \times 3,50 = 2,10$		
	Fossé 4		0,22
	Total		2,75



Echelle:
 par mètre

Méthode de Catto

Cette méthode évite les calculs des figures élémentaires, trapèzes et triangles, des figures 20 et 23, qui deviennent fastidieux lorsque les profils en travers se comptent par dizaines ou par centaines. Mais, pour que cette méthode soit facilement applicable, il convient que le terrain naturel ne comporte que deux déclivités, avec leur point de brisure sur l'axe du profil. Lorsque le terrain comporte plus de deux déclivités, la méthode est encore valable, mais les complications introduites lui font perdre son intérêt.

Considérons un profil entièrement en déblai (fig. 24). La largeur de la plateforme est $2a$, la pente des talus est p , enfin, q et r sont les pentes du terrain naturel. La surface à calculer ABCDEFA (on ajoutera ensuite les fossés) est égale à la surface ABCDOFA moins la surface DEFOD. Cette dernière est constante pour tous les profils en déblai ; elle ne dépend que de la largeur de la plateforme et de la pente des talus et peut donc être calculée une fois pour toutes. L'autre surface se compose des deux triangles ABO et BCO, qui ont pour base commune BO, égal à BE (obtenu précédemment dans les calculs du profil en long), augmenté de EO, longueur fixe calculée dans le triangle FDO ; cette surface est $\frac{2a.p}{2}$ soit $a.p$.

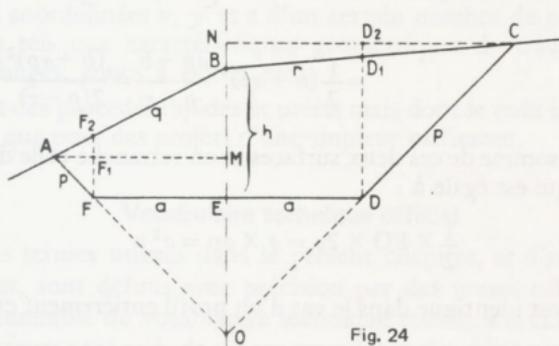


Fig. 24

On a donc : $BO = b + ap$

Il reste à calculer AM d'un côté, et CN de l'autre ; ces deux longueurs comprennent chacune la demi-largeur de la plateforme, soit a , augmentée de AF_1 pour AM, et de D_2C pour CN.

Pour le calcul de AF_1 , on a :

$$FF_2 = b - aq$$

et
$$AF_1 = \frac{FF_2}{p + q} = \frac{b - aq}{p + q}$$

Pour le calcul de D_2C , on a :

$$DD_1 = b + ar$$

et
$$D_2C = \frac{DD_1}{p-r} = \frac{b+ar}{p-r}$$

La surface du triangle ABO est alors égale à :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} BO \times AM &= \frac{1}{2} (b+ap) \left[a + \frac{b-aq}{p+q} \right] \\ &= \frac{1}{2} (b+ap) \frac{ap+b}{p+q} = \frac{(b+ap)^2}{2(p+q)} \end{aligned}$$

Celle du triangle BCO est égale à :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} BO \times CN &= \frac{1}{2} (b+ap) \left[a + \frac{b+ar}{p-r} \right] \\ &= \frac{1}{2} (b+ap) \frac{ap+b}{p-r} = \frac{(b+ap)^2}{2(p-r)} \end{aligned}$$

On fait la somme de ces deux surfaces et on retranche celle du triangle D E F O D qui est égale à :

$$\frac{1}{2} \times EO \times 2a = a \times ap = a^2 p$$

Le calcul est identique dans le cas d'un profil entièrement en remblai (fig. 25).

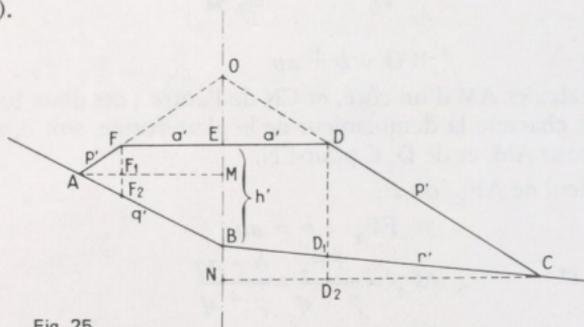


Fig. 25

Dans le cas d'un profil mixte, c'est-à-dire comportant déblai et remblai, la méthode peut encore être appliquée, moyennant quelques calculs supplémentaires.

Dans un pays moyennement accidenté, ces profils mixtes ne représentent d'ailleurs le plus souvent qu'une faible proportion de l'ensemble des profils en travers.

Calcul par machines électroniques

On a maintenant la possibilité de porter les caractéristiques des profils en travers du terrain et du projet dans des moyens de saisies de données et d'utiliser des moyens électroniques, ordinateur et machine imprimante, qui opéreront à très grande vitesse les calculs longs et fastidieux des profils en travers et en fourniront les résultats par un « listing » de chiffres sur une bande dactylographiée.

Ces machines peuvent également effectuer les calculs des volumes des terrassements, et même procéder à la recherche du projet optimum, selon ce qui est exposé aux chapitres suivants.

On introduit pour cela dans l'ordinateur une représentation du terrain grâce aux coordonnées x , y et z d'un certain nombre de points, et des impératifs tels que caractéristiques géométriques du tracé, points de passage obligés, zones à éviter, etc...

Ce sont des procédés rapides et précis mais dont le coût important ne se justifie que pour des projets d'une ampleur suffisante.

Vocabulaire technique officiel

Certains termes utilisés dans le présent chapitre, et d'autres qui les complètent, sont définis avec précision par des textes officiels. On a groupé l'ensemble du vocabulaire technique routier à la fin du chapitre VI ; les lecteurs sont priés de s'y reporter dès maintenant pour les termes concernant le présent chapitre.

CHAPITRE II

CUBATURE ET MOUVEMENT DES TERRASSEMENTS

On a vu comment l'on obtient sur les profils en travers la surface des sections des remblais et des déblais. Le profil en long indique les distances entre les profils en travers ; avec ces éléments qui sont en somme des surfaces de base et des hauteurs, on va pouvoir calculer des volumes.

Calcul des volumes

Leur calcul s'appelle la cubature des terrassements.

Si l'on voulait calculer avec une exactitude rigoureuse le volume d'un terrassement, on serait conduit à des calculs longs et compliqués. Mais le calcul exact est de peu d'intérêt, et l'on peut se contenter d'une méthode approchée conduisant à de petites erreurs qui se compensent à peu près. S'il subsiste une erreur résiduelle, elle se traduira finalement par une petite différence en argent, car le calcul d'un terrassement est destiné à en évaluer le coût. Tout compte fait, il sera plus avantageux d'accepter cette erreur que de consacrer un temps considérable, dont la valeur serait beaucoup plus grande, à vouloir obtenir un volume d'une exactitude mathématique.

On a d'ailleurs procédé à une première approximation au cours des opérations de nivellement du terrain, puisqu'on n'a considéré qu'un nombre restreint de points, remplaçant ainsi les surfaces ondulées du terrain par des plans reliant les points qu'on a choisis, et l'on a obtenu entre deux profils en travers successifs un volume du genre de celui représenté sur la figure 1. Ce volume est limité par des plans (surface du

projet, plans verticaux des profils en travers) et par des surfaces ABC D... représentant le terrain naturel, surfaces qu'on peut représenter par les triangles ABC, BCD et autres.

On peut appliquer à cette figure la formule du volume du prismoïde, ou formule des trois niveaux.

$$V = \frac{H}{6} \times (B + B' + 4 B'')$$

Les deux bases B et B' sont les surfaces des profils en travers P.1 et P.2 (fig. 1) la hauteur H du prismoïde est la distance de ces deux profils. On sait que B'', base intermédiaire, est la surface de la section menée à mi-distance des deux bases B et B'.

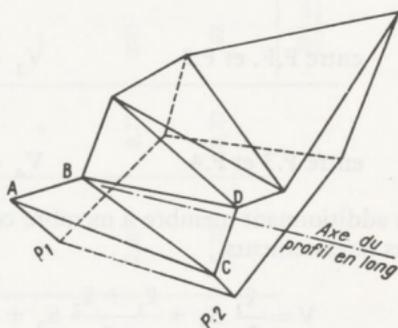


Fig. 1

En adoptant les symboles de la figure 2, représentant le profil en long de la figure 8 du chapitre 1, le volume compris entre les 2 profils en travers P.1 et P.2, de section S₁ et S₂, sera

$$V_1 = \frac{l_1}{6} (S_1 + S_2 + 4 S'')$$

On serait donc conduit à calculer chaque fois un nouveau profil en travers intermédiaire,

équidistant des profils en travers initiaux. Pour s'éviter cette peine, on simplifie la formule V en considérant comme très voisines les deux expressions

$$S'' \text{ et } \frac{S_1 + S_2}{2}$$

ce qui donne

$$V_1 = \frac{l_1}{6} (S_1 + S_2 + 4 \frac{S_1 + S_2}{2}) = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2)$$

Sur la figure 2, les volumes seront : entre P.1 et P.2 $V_1 = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2)$

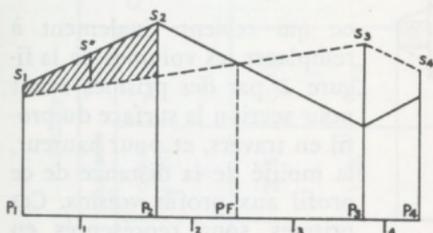


Fig. 2

entre P.2 et P.F.
$$V_2 = \frac{\ell_2}{2} (S_2 + 0)$$

entre P.F. et P.3
$$V_3 = \frac{\ell_3}{2} (0 + S_3)$$

entre P.3 et P.4
$$V_4 = \frac{\ell_4}{2} (S_3 + S_4)$$

en additionnant membre à membre ces expressions, on a le volume total des terrassements

$$V = \frac{\ell_1}{2} S_1 + \frac{\ell_1 + \ell_2}{2} S_2 + \frac{\ell_2 + \ell_3}{2} 0 + \frac{\ell_3 + \ell_4}{2} S_3 + \frac{\ell_4}{2} S_4$$

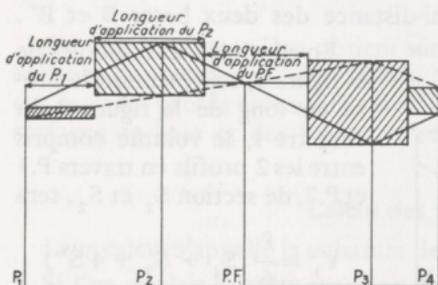


Fig. 3

ce qui revient finalement à remplacer les volumes de la figure 2 par des prismes ayant pour section la surface du profil en travers, et pour hauteur, la moitié de la distance de ce profil aux profils voisins. Ces prismes sont représentés en coupe sur la figure 3.

On voit l'utilité de placer les profils fictifs P.F. puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

Métré des terrassements

On concrétise les calculs sous forme d'un tableau qui s'appelle le métré des terrassements. (tableau fig. 4).

Les chiffres indiqués dans les colonnes du tableau correspondent aux éléments du profil en long donné sur la figure 8 du chapitre I et du profil en travers de la figure 23 du chapitre I, dessinés sur le dépliant.

Dans la première colonne, on indique la suite des profils en travers, sans oublier les profils fictifs. Dans la deuxième colonne, on indique les

Numéros des profils	Distances entre profils	Longueurs d'appli- cation	Déblais				Remblais				Obs- er- vations
			Surfaces		Cubes	Surfaces		Total	Cubes		
			à gauche de l'axe	à droite de l'axe		à gauche de l'axe	à droite de l'axe				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	31,20	15,60	0,68	2,75	3,43	54	0,80	"	0,80	12	
2	28,10	29,65	1,41	1,05	2,46	73	"	"	"	"	
P.F.	28,85	28,475	"	"	"	"	"	"	"	"	
3	18,30	23,575	0,32	0,92	1,24	29	7,57	2,20	9,77	230	
4		9,15	0,45	0,21	0,66	6	"	5,70	5,70	52	
Totaux	<u>106,45 m</u>	<u>106,45 m</u>				<u>162 m3</u>				<u>294 m3</u>	

Fig. 4

distances qu'on relève sur le profil en long.

La troisième colonne, dénommée «longueurs d'application», comporte la longueur sur laquelle s'applique la section du profil (se reporter à la fig. 3). On y trouve les longueurs

$$\frac{\ell_1}{2} = \frac{31,20}{2} = 15,60 \text{ m}$$

$$\frac{\ell_1 + \ell_2}{2} = \frac{31,20 + 28,10}{2} = 29,65 \text{ m etc...}$$

Bien entendu, le total des longueurs doit être identique dans les colonnes 2 et 3, et correspondre à la longueur cumulée du profil en long.

On remplit ensuite les colonnes 4, 5, 8 et 9 en y portant les surfaces qu'on a calculées sur chaque profil en travers. Pour P.1, ce sont les surfaces indiquées à la figure 23 du chapitre I. On fait sur chaque ligne les totaux dans les colonnes 6 et 10, qu'on multiplie par les longueurs d'application (colonne 3). On obtient ainsi les cubes des déblais et des remblais, inscrits dans les colonnes 7 et 11 qu'on totalise. Ces cubes sont arrondis au mètre cube le plus voisin, par excès ou par défaut, ou quelquefois à la centaine de décimètres cubes, soit une décimale.

Noter que la ligne correspondant aux profils fictifs contient toujours des surfaces et des cubes nuls. Il est cependant nécessaire de faire figurer les P.F. pour tenir compte de leur longueur d'application, qui fait partie de la longueur totale.

On obtient finalement le volume des terrassements ; dans l'exemple choisi, il comprend 162 m³ de terre à enlever (déblais) et 294 m³ de terre à apporter (remblais), ce qui conduira à opérer des transports pour évacuer les terres en excès (déblais) et apporter celles qui font défaut (remblais).

Il restera en définitive un excès de remblais de

$$294 - 162 = 132 \text{ m}^3$$

qui devra être pris au loin dans un lieu d'emprunt et amené sur la route. S'il y avait eu un excès de déblais, la terre en excès à évacuer du chantier aurait été transportée dans l'endroit le plus proche où cela était possible (trou à combler ou autre chantier) qui s'appelle lieu de dépôt.

Si l'on n'a pas distingué les surfaces à droite et à gauche de l'axe dans le calcul des profils en travers, le tableau du métré des terrassements se

simplifiée de la façon suivante :

Numéros des profils	Distances entre profils	Longueurs d'application	Déblais		Remblais		Observations
			Surfaces	Cubes	Surfaces	Cubes	

Fig. 5

Tableau du mouvement des terrassements

Ce tableau va permettre de trouver, avec l'aide de l'épure de Lalanne (voir plus loin), de quelle façon doivent se faire les transports pour qu'ils soient les plus économiques (tableau fig. 6).

Numéros des profils	Cubes des déblais	Cubes des remblais	Déblais à employer transversalement à l'axe	Excès de déblais	Excès de remblais	voir plus loin la suite du tableau (fig. 37)
				+	-	
1	2	3	4	5	6	
1	54	12	12	42	"	
2	73	"	"	73	"	
3	29	230	29	"	201	
4	6	52	6	"	46	
Totaux	<u>162</u>	<u>294</u>	<u>47</u>	<u>115</u>	<u>247</u>	

Fig. 6

Etudions d'abord la partie du tableau allant jusqu'à la colonne 6. On remplit les trois premières colonnes avec les indications du tableau du métré des terrassements. Il est inutile d'indiquer les profils fictifs.

Dans la colonne 4, on indique le volume des terres qu'on pourra employer sur place, à chaque profil ; c'est le volume des déblais qu'on pourra placer en remblai par un transport se faisant perpendiculairement à l'axe du profil en long. La figure 12 du chapitre I (sur le dépliant) montre en effet qu'un certain volume de terres pourra être utilisé en remblai pour élargir la plateforme en FG et pour constituer le talus GH.

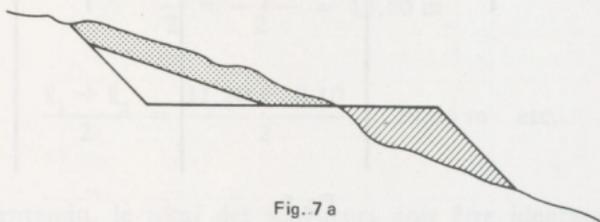


Fig. 7 a

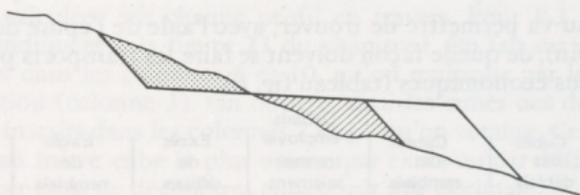


Fig. 7 b

Suivant le cas, on indiquera dans la colonne 4, soit la partie des déblais nécessaire pour combler totalement le trou des remblais (fig. 7 a), soit la totalité des déblais avec laquelle on ne bouchera qu'une partie du trou des remblais (fig. 7 b). C'est en fait le nombre le plus faible des colonnes 2 et 3 qu'on portera à chaque ligne dans la colonne 4.

Dans le cas d'un profil totalement en déblai, comme le profil 2 du tableau, aucun emploi de terre ne peut être fait sur place. Le nombre à porter dans la colonne 4 est nul. Il en serait de même pour un profil totalement en remblai.

Dans la colonne 5, on porte l'excès des déblais, c'est-à-dire la différence des colonnes 2 et 4. La colonne 6, donnant l'excès des remblais, est la différence des volumes des colonnes 3 et 4.

Quand on a totalisé les colonnes, on vérifie tout de suite que :

$$\Sigma \text{ Colonne 5} = \Sigma \text{ Colonne 2} - \Sigma \text{ Colonne 4}$$

$$\Sigma \text{ Colonne 6} = \Sigma \text{ Colonne 3} - \Sigma \text{ Colonne 4}$$

On verra plus loin, au moment de l'établissement de l'épure de Lalanne, que les nombres de la colonne 5 doivent être considérés comme des nombres positifs, et ceux de la colonne 6, négatifs.

Epure de Lalanne

Il s'agit maintenant de déterminer le détail des transports de terre, d'un profil à un autre profil, et d'un ou de plusieurs lieux d'emprunt à des profils, comme c'est le cas dans l'exemple choisi (ou depuis des profils vers des dépôts, dans le cas d'un excès de déblais). Pour cela, on va établir l'épure de Lalanne.

Il ne sera pas question de l'épure et de la méthode de Brückner qu'on trouvera exposée dans les traités spéciaux.

Etablissement de l'épure

L'épure de Lalanne est un moyen de représentation graphique des terrassements effectués, et s'établit de la façon suivante.

Tout d'abord, on représente les volumes par des lignes verticales dont la longueur est proportionnelle aux cubes représentés, on suppose que le volume des terrassements est, à chaque profil, concentré au lieu même du profil en travers, et non réparti sur toute la longueur d'application du profil, comme c'est réellement le cas. Cette hypothèse simplificatrice est d'ailleurs sans influence sur la suite du travail.

On prend une ligne horizontale appelée ligne de terre, ou encore ligne horizontale initiale (fig. 8), sur laquelle on porte, à l'échelle choisie (celle du profil en long, par exemple) l'emplacement des profils en travers. De même que sur le tableau du mouvement des terres, il est inutile d'y porter les profils fictifs.

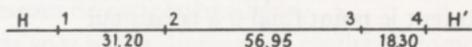


Fig. 8

Perpendiculairement à cette ligne, on porte les cubes des déblais et des remblais, pris dans les colonnes 5 et 6 du tableau du mouvement des terres. On choisit pour cela une échelle des cubes, par exemple, 1 centimètre pour 20 m³, ou encore pour 50 m³, ou pour 100 m³, etc... et l'on porte les déblais de bas en haut, et les remblais de haut en bas, en sautant d'un profil à un autre par un échelon horizontal, en cumulant les cubes à chaque profil, et en comptant les déblais comme positifs (terres venant des bosses), et les remblais comme négatifs (trous à combler).

C'est ainsi que le tableau du mouvement des terrassements établi plus haut donnera l'épure de la figure 9.

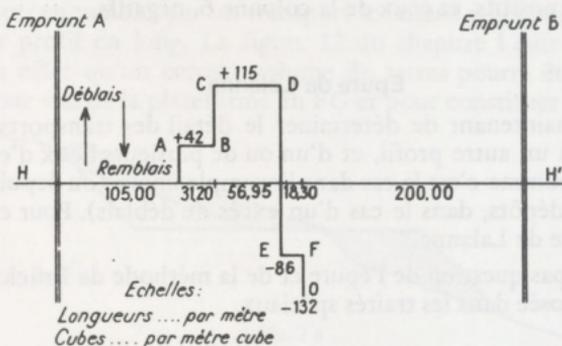


Fig. 9

Au profil 1, on élève (déblais) une verticale représentant 42 m^3 ; on tire de ce point un échelon horizontal à la hauteur $+ 42 \text{ m}^3$ jusqu'au profil 2. Du point obtenu B, on élève une autre verticale de 73 m^3 (déblais), qui arrive au point C, d'où l'on obtient le nouvel échelon horizontal CD, à la cote $+ 115 \text{ m}^3$.

Ensuite, on descend du point D la verticale DE de 201 m^3 (remblais) jusqu'à l'échelon EF situé à

$$+ 115 - 201 = - 86 \text{ m}^3$$

de HH'. Enfin, du point F on descend encore (remblais) de 46 m^3 , et l'on obtient le point final 0 à la hauteur

$$- 86 - 46 = - 132 \text{ m}^3$$

de l'horizontale HH'.

Comme vérification, on doit trouver que le point 0 est à une distance de la ligne horizontale initiale HH' égale à l'excès de remblais général (ou à l'excès de déblais, si cela avait été le cas).

Pour un excès de déblais, le point 0 est situé au-dessus de la ligne HH', indiquant comme résultat un cube positif. Pour un excès de remblais, comme ici, le point 0 est situé au-dessous de la ligne HH', indiquant comme résultat un nombre négatif (remblais).

D'une façon générale, cette distance de l'horizontale initiale au point 0 est égale à la différence, avec son signe, des totaux des colonnes 5 et 6 du tableau du mouvement des terres ou, ce qui revient au même, à leur

On peut penser à partir de tout ce qui précède, que le rôle de la recherche scientifique est de fournir des connaissances nouvelles et de permettre ainsi de mieux comprendre le monde qui nous entoure.

BIBLIOGRAPHIE

Il est intéressant de noter que les connaissances scientifiques ne sont pas toujours immédiatement applicables. Elles peuvent être le fruit de longues années de recherche et de nombreuses tentatives.

- Les connaissances scientifiques ne sont pas toujours immédiatement applicables.
- Elles peuvent être le fruit de longues années de recherche et de nombreuses tentatives.
- Les connaissances scientifiques ne sont pas toujours immédiatement applicables.
- Elles peuvent être le fruit de longues années de recherche et de nombreuses tentatives.
- Les connaissances scientifiques ne sont pas toujours immédiatement applicables.
- Elles peuvent être le fruit de longues années de recherche et de nombreuses tentatives.
- Les connaissances scientifiques ne sont pas toujours immédiatement applicables.
- Elles peuvent être le fruit de longues années de recherche et de nombreuses tentatives.

A l'Institut National de la Recherche Scientifique

Recherche scientifique relative aux sciences de la vie et de la santé

Ministère de l'Équipement et du Logement
Service des Travaux Techniques des Routes et des Autoroutes

Le présent rapport est le fruit de nombreuses recherches effectuées par les services techniques de l'Équipement et du Logement. Il a pour but de fournir des renseignements utiles aux ingénieurs et techniciens des Travaux Techniques des Routes et des Autoroutes.

Imprimerie de la Manutention à Mayenne
Dépôt Légal : Octobre 1986
N° d'éditeur : 4499

Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX^e siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en vertu d'une licence confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012.

Avec le soutien du

