Office de la formation professionnelle
et de la promotion du travail
Direction de la Recherche et Ingénierie de formation

OFPPT
La voie de l'avenir

Secteur : **Bâtiment et travaux publics**

Manuel de cours

M108: Techniques de terrassement, études et traitement des sols

1ère Année

Filière :

Géomètre Topographe

Technicien spécialisé

Version : 01/12/2021

www.4geniecivil.com

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF et au CDC BTP toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce module.

DRIF – CDC BTP

www.4geniecivil.com

SOMMAIRE

PRESENTATION DU MODULE
RESUME DE THEORIE

I. GÉNÉRALITÉ

1. Les terrassements généraux
1.1. Travaux préliminaires
1.2. Exécution des terrassements
1.3. Nettoyage – Décapage
1.4. Fouilles en excavation
1.5. Cas particuliers
1.6. Les conditions atmosphériques
1.7. Les terrains en pentes
1.8. Les remblais
1.9. Les épuisements
1.10. Protection des remblais de grande surface
1.11. Tranchée commune
1.12. Plan de terrassements
1.13. Plan des canalisations existantes
1.14. Plan de recollement

2. Murs de soutènements. Talus
2.1. Calcul du mur de soutènement
2.2. Murs en pierres sèches
2.3. Murs préfabriqués
2.4. Les murs – caissons
2.5. La terre armée

3. Caractéristique des terrains de terrassements
3.1. Classification des terrains
3.2. Talus

II. DOCUMENTS DE BASE POUR LES PROJETS DE TERRASSEMENTS

1. Cartes
2. Plans
3. Planimétrie et relief
4. Points cotés
5. Courbes de niveau
6. Terrassements
7. Profil en long
8. Indications du profil en long
9. Profil fictif
10. Profil en travers
11. Talus
12. Fossés

www.4geniecivil.com

13. Banquettes
14. Calculs du profil en travers
15. Méthode de Catto
16. Application

III. CUBATURE DES TERRASSEMENTS

1. Principe de calcul des volumes “couchés“
2. Moyenne des aires
3. Distances des profils encadrants à la ligne de passage
4. Moyenne des entre- profils
5. Cubature simplifiée
6. Application du calcul des volumes “couchés“
7. Calcul des volumes “ de bouts“. Méthode du plan coté

GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

EVALUATION DE FIN DE MODULE

IV. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

www.4geniecivil.com

Durée : 60h

OBJECTIF OPERATIONNEL

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit savoir la nécessité de terrassement du terrain, les méthodes de travail pour créer la base de terrassement, détermination de cote du projet et les calculs et dessins, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'EVALUATION

- Connaissances sur les mesures topographiques
- Travail individuel
- Travail en groupe
- Connaissances pour les calculs et dessins topographiques
- Manières de préparation et présentation de projet

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Savoir les méthodes de travail avec le niveau de chantier
- Réaliser les nivellements de surface
- Maîtriser les connaissances sur les sols
- Maîtriser les connaissances sur les pentes et les distances
- Remplir le carnet pour les mesures
- Créer un croquis
- Calculer les volumes terrestres
- Calculer les cotes de projet et les différences de cotes
- Dessiner pour le cartogramme des volumes terrestres
- Dessiner avec les lignes de projet

www.4geniecivil.com

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
1. Généralités	• Besoin de terrassement du terrain • La base pour le terrassement • Pentes et distances • Interpolation
2.Mesures sur le terrain	• Stationnement et travail avec le niveau de chantier • Division de la surface aux carrés 20/20 m • Nivellement par rayonnement pour les cotes du terrain naturel à chaque sommet des carrés • Croquis et carnet pour les mesures
3. Cartogramme pour les volumes terrestres en déblai et en remblai	• Dessin sur la base de croquis • Détermination de cote de projet • Détermination des pentes • Calcul des cotes du projet • Détermination de la ligne ZERO • Calcul des volumes terrestres • Calcul des talus • Vérification pour les volumes en déblai et en remblai
4. Dessin avec les lignes du projet	• Copie de cartogramme avec les cotes du projet et les talus • Détermination des lignes de projet • Les altitudes de chaque ligne de projet
5. Note explicative	• Explications pour les méthodes de travail sur le terrain et dans le bureau • Comment est déterminé la cote du projet • Détermination des lignes du projet • Destination et importance de ce dessin

www.4geniecivil.com

PRESENTATION DU MODULE

Le module : **« Techniques de terrassement, études et traitement des sols »** est destiné aux stagiaires de la filière Technicien Spécialisé Géomètre Topographe pendant le deuxième semestre de formation. Ce module est dispensé en 60 heures.

Le module N°108 consiste à doter le géomètre topographe avec une connaissance générale sur le terrassement du terrain et de lui faire apprendre les méthodes générales pour faire des mesures et des calculs topographiques, destinés pour l'élaboration des projets pour le terrassement du terrain, dans la réalisation des travaux en construction, sur le chantier, ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude.

Le module a été élaboré en deux parties : Résumé de théorie et Guide de travaux pratique

www.4geniecivil.com

PROJET POUR LE TERRASSEMENT DU TERRAIN EN DÉBLAI ET REMBLAI

RÉSUMÉ DE THÉORIE

www.4geniecivil.com

I. GENERALITÉ

1. Les terrassements généraux

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

Ces travaux sont effectués à l'aide d'un matériel lourd et hautement spécialisé qui relève des Travaux Publics (bulldozers, scrapers, dumpers, pelles mécaniques, etc.).

La première opération consiste, sous réserve que les constructions existantes et gênantes aient été démolies, à nettoyer le terrain et à enlever la terre végétale en protégeant si nécessaire les arbres en place.

Pour la mise à niveau les situations suivantes se présentent généralement :

— *pour les bâtiments industriels et les centres commerciaux,* le terrain doit être rendu plan sur toute sa surface, des dénivellations restant possibles mais devant être étudiées pour ne causer aucune gêne dans l'exploitation,

— *pour les groupes d'habitation,* le terrain doit être seulement aplani au droit des bâtiments, des voiries et des aires de stationnement, avec éventuellement des approfondissements locaux,

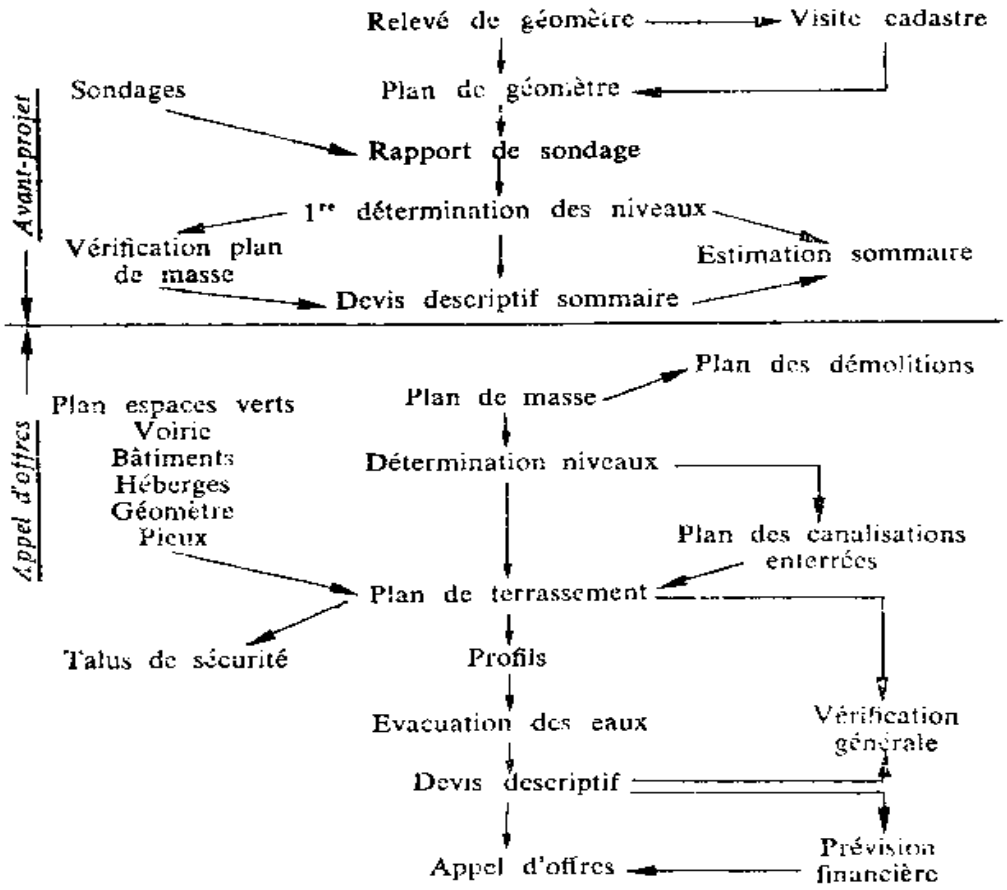
— *le terrain doit être creusé profondément* pour loger des sous-sols ; ce cas, assez rare dans les bâtiments courants, est cité pour mémoire car il s'applique essentiellement aux immeubles du centre ville.

Le terrassier exécute également les tranchées pour les divers réseaux de canalisation de fluides mais en tant que sous-traitant des entreprises spécialisées en réseaux divers.

www.4geniecivil.com

Enfin toutes les terres en excédent non récupérables pour des remblais ou des modelés doivent être évacuées au-dehors sans souiller les chaussées.

Planning des études terrassements



Terrassements généraux

Pour le bâtiment d'habitation et les écoles, les travaux de terrassement sont généralement réduits : ils consistent à établir des plates-formes au droit des bâtiments et des chaussées, compte tenu des sous-sols éventuels, mais en « collant » au terrain au plus près afin de réduire les mouvements de terre et, partant, le coût.

Mais les exceptions à cette règle ne sont pas rares :

— le bâtiment peut comporter un sous-sol sur tout ou partie de sa surface qui implique une fouille en pleine masse importante,

— le terrain, de grande surface, est en pente légère, peu appréciable à l'œil nu mais sur deux ou trois cents mètres la dénivellation peut

www.4geniecivil.com

atteindre plusieurs mètres. Des décrochements de niveau étant à prohiber dans une usine il faut pour obtenir une surface horizontale procéder à des mouvements de terre en déblayant une zone et en remblayant d'autres parties. Le niveau moyen doit être déterminé de façon à éviter les apports de terre extérieure et les enlèvements aux décharges. Il faut donc ajuster les volumes de déblais et de remblais en choisissant judicieusement le dessus du dallage fini ou niveau O. Parfois cela est impossible et il faut décaper sur une hauteur importante et envoyer les excédents aux décharges.

Ce problème, simple en apparence, est en réalité particulièrement complexe et souvent mal apprécié ce qui peut grever lourdement le prix du terrain si le sol est de mauvaise qualité, inutilisable ou difficile à compacter, sans oublier les retards dus aux intempéries.

Mais les entreprises disposent d'un matériel, généralement surpuissant auquel il suffit d'apporter des changements mineurs pour qu'il soit utilisable sur le terrain envisagé (changement de dents de godet par exemple). Ces travaux, effectués par l'entrepreneur de terrassements généraux qui livre la plate-forme brute, sont basés sur un jeu de plans indiquant les niveaux finis à obtenir ainsi que les crêtes ou selon les cas les pieds des talus de sécurité. Ces plans doivent être joints au dossier d'appel d'offres des lots du gros-œuvre, des fondations spéciales et du sol industriel (cas de l'usine).

Travaux préliminaires

Sur le terrain peuvent se trouver des bâtiments en élévation et en sous-sol ainsi que des canalisations enterrées, inutiles ou gênants pour la future construction, et qu'il faut démolir.

Les démolitions en élévation sont effectuées par un entrepreneur spécialisé dès qu'elles sont de quelque importance. L'usage veut que le bâtiment soit arasé au niveau du sol existant et les caves éventuelles comblées avec les débris de la démolition.

L'entrepreneur de terrassement démolit les constructions légères. Il abat également les arbres gênants et assure la conservation des autres. Il participe souvent à des opérations complémentaires d'installation de chantier telles que la définition des itinéraires des camions, le fléchage, la signalisation routière de complément, les protections ou les déviations pour les piétons, l'aménagement de portion de terrain pour le logement du personnel, l'installation des baraques, les zones de dépôt, etc.

Etant souvent le premier entrepreneur (avec le démolisseur) à intervenir sur le terrain, il est fréquemment chargé d'établir la clôture

www.4geniecivil.com

du chantier qui sera constituée par un simple cordon sur piquets ou par une palissade réglementaire en planches. (Règlements locaux)

Dans la mesure du possible, l'emplacement des constructions démolies doit être indiquée sur le plan des terrassements car il subsiste généralement des fondations, des sous-sols, des fosses, etc.

Il arrive qu'un temps assez long s'écoule entre la démolition et le début des travaux ; de plus les propriétaires et promoteurs peuvent changer. Le projeteur, au cours de sa visite, « voit » alors un terrain dénué d'obstacles et ne peut deviner ceux qui sont parfois même ignorés du nouveau propriétaire. Il est dans ce cas conseillé de consulter les plans cadastraux qui, rarement récents, indiquent les constructions anciennes dont la trace a disparu.

Certaines entreprises de terrassement exécutent également des travaux d'amélioration du sol afin d'augmenter sa force portante. Ils ne seront pas décrits ici car ils sont essentiellement fonction de l'usage futur des bâtiments (voir tome III).

Par contre le terrassier exécute fréquemment une sous-couche en grave-ciment (ou similaire) sur la surface des bâtiments et des aires de manœuvre afin d'obtenir une plate-forme utilisable par les camions d'approvisionnement, les engins de levage ou de battage des pieux ainsi que par le personnel.

En principe, un arbre de plus de 10 cm de diamètre ne doit pas être abattu ; à défaut, le projeteur vérifiera que les autorisations nécessaires ont bien été délivrées.

Pour assurer une bonne protection des arbres et bosquets pendant la durée du chantier, il est conseillé de prévoir une clôture en châtaignier de 2 m de hauteur et à 1 m environ de l'arbre ou du bosquet.

D'autre part, la NF P 01003 - annexe A - met à la charge du lot V. R. D. :

— les branchements provisoires d'égouts,
— l'exécution des voies d'accès provisoires,
— l'entretien de ces voies.

Ce sont des sujétions de chantier à ne pas négliger lors de la mise au point du calendrier des travaux.

Dans les terrains graveleux ou sableux il est possible d'exploiter les matériaux en place pour les besoins du chantier. Le terrassier effectue alors la découverte puis après purge, remblaie le terrain en s'efforçant de reconstituer les caractéristiques antérieures ce qui pose en général de nombreux problèmes (niveau des fondations, tenue des dallages, etc.) que le projeteur doit étudier avec soin sans oublier l'intervention du Bureau de contrôle.

www.4geniecivil.com

Il ne faut pas négliger le problème de l'eau. Les terrains constructibles sont généralement à l'abri des inondations courantes mais pas toujours des inondations séculaires. La nappe phréatique peut être proche du sol soit constamment, soit périodiquement ce qui implique, selon son niveau, des travaux préliminaires de drainage général ou une gêne lors des fondations ou de l'exécution des sous-sols.

Les travaux de drainage, de même que ceux de soutènement, seront réalisés avant les travaux de terrassement proprement dits, d'où une contrainte dans le calendrier des opérations.

Exécution des terrassements

Il ne sera pas donné d'indications sur l'exécution proprement dite des terrassements car le choix des moyens est d'une manière générale laissé à l'entrepreneur.

Par contre le rédacteur du Devis descriptif doit indiquer la nature présumée des terrains, sauf si un rapport de sondage indispensable pour les opérations de quelque importance est joint au dossier d'appel d'offres.

Dans le cas des terrassements mécaniques les terrains peuvent approximativement être classés de la manière suivante :

— sols meubles non compacts (gravier, sable, loess, limon, etc.),
— sols meubles compacts (argile épaisse, marne, craie, schiste, etc.),
— sols compacts (poudingue, grès poreux, calcaire, gypse, etc.),
— sols durs (calcaire dur, basalte, porphyre, gneiss, grès, etc.).

Chaque catégorie nécessitant un matériel particulier, les prix unitaires diffèrent de l'une à l'autre tant pour l'extraction que pour le transport hors du chantier ou la mise en remblai.

Le réemploi des déblais en remblais n'est pas toujours possible surtout si le terrain en place est médiocre ou se prête mal au compactage (point à faire vérifier lors des sondages préliminaires).

D'autre part la présence de l'eau entraîne des travaux préparatoires pour rendre le chantier accessible aux engins de terrassement, spécialement dans le cas des sols meubles.

Le rédacteur doit faire figurer également dans son texte la description des imprévus que l'examen des documents en sa possession ou son expérience lui permettent d'envisager : ils feront l'objet de « prix de bordereau » ce qui évitera les discussions ultérieures sur les prix unitaires car les métrés sur place n'offrent en général pas de difficulté. On citera par exemple les blocs erratiques, les canalisations abandonnées, les fondations d'anciens ouvrages, les venues d'eau, les changements imprévus de la nature du terrain, les éboulements consécutifs au gel ou aux pluies diluviennes, etc.

www.4geniecivil.com

Enfin il doit vérifier que les plans comportent toutes les indications nécessaires pour que l'entrepreneur puisse effectuer un avant-métré précis.

Une fouille doit toujours être limitée par un talus dont la pente est fonction des conditions locales : nature du terrain, saison, présence d'eau, etc.

Dans le cas où la tenue du talus à l'eau de ruissellement est médiocre il faut le protéger par une feuille plastique. Si le talus est en bordure d'une voie de circulation publique ou privée ou si la fouille longe un bâtiment à conserver, la crête ne doit pas être située contre cet élément mais éloignée de 1 à 2 m afin de laisser un passage et de ne pas dégarnir les fondations. Si cela est impossible, il faut procéder à un blindage, la fouille étant alors taillée verticalement et exécutée par élément.

Dans certains cas, le blindage peut être constitué par un rideau de palplanches battues avec une fiche suffisante pour ne nécessiter ni buton, ni tirant d'ancrage. Il est nécessaire pour cela que le terrain soit suffisamment dur en partie basse.

En période de fortes pluies beaucoup de talus sont dans un état **d'équilibre voisin de la rupture.** Des fouilles entreprises à proximité à ce moment peuvent entraîner des éboulements dont les conséquences sont graves : désordres chez les riverains, terres qu'il faut évacuer, étaiements, etc.

Dans les formations rocheuses peu compactes (marnes et caillasses, roches fissurées) le terrassement s'effectue par « rippage » avec parfois une fragmentation préalable à l'explosif (le ripper est un bulldozer équipé de dents frontales).

Dans les roches compactes (calcaire grossier, marne et caillasse épaisse) il faut fragmenter à l'explosif puis dégager avec des engins puissants.

La cubature des terrassements est toujours un point de friction entre entrepreneur et Maître d'Œuvre (ou vérificateur). Aussi la précision est-elle de rigueur : plans délimitant avec exactitude le contour de la fouille, définition du mode de métré, etc. Il est conseillé en particulier de métrer les fouilles sur plans, au vide à l'aplomb des fondations, sans tenir compte des talus et surlargeurs nécessaires à l'exécution ; le prix unitaire établi par l'entrepreneur doit tenir compte des sujétions.

Enfin il est rappelé que la circulation des camions sur les zones détrempées entraîne l'envahissement des roues par la boue. Un nettoyage de celles-ci est obligatoire avant la sortie des camions sur la voie publique.

Le lecteur n'oubliera pas que si le volume des fouilles est important, cela implique une importante rotation de camions lourds qui peuvent pertuber la circulation publique. Une visite au Commissariat de police ou à la gendarmerie est indispensable avant le début des travaux.

www.4geniecivil.com

Nettoyage — Décapage

Le sol naturel doit être débarrassé de toute la terre végétale, des détritus, des matières organiques, des arbres et arbustes qui pourraient s'y trouver. Le terrain est mis à nu jusqu'à la couche saine.

La couche de terre végétale a une épaisseur moyenne de 20 à 40 cm ; elle est retirée et gerbée en tas d'une hauteur maximale de 2 à 3 m, non tassée afin d'éviter une autocompression qui ruinerait la vie microbienne.

Les poches de terre de mauvaise qualité, les blocs erratiques, les souches sont enlevés et remplacés par un matériau de bonne tenue, généralement du sable à l'exclusion des terres de remblai. Les souches en particulier doivent être extraites entièrement pour éviter des rejets.

Il n'est pas rare que le terrain ait été utilisé abusivement soit par un voisin, soit par des inconnus pour y déposer du matériel, des matériaux ou des détritus. Accord verbal ou, à défaut, constat d'huissier, sont nécessaires dans le premier cas.

Les déchets inutilisables sont transportés aux décharges publiques mais la terre végétale est récupérée soit pour être stockée sur place en vue de sa réutilisation, soit pour être vendue.

Il est prudent de répandre du *débroussaillant total* pour éviter la repousse de certaines racines susceptibles de se développer après coup.

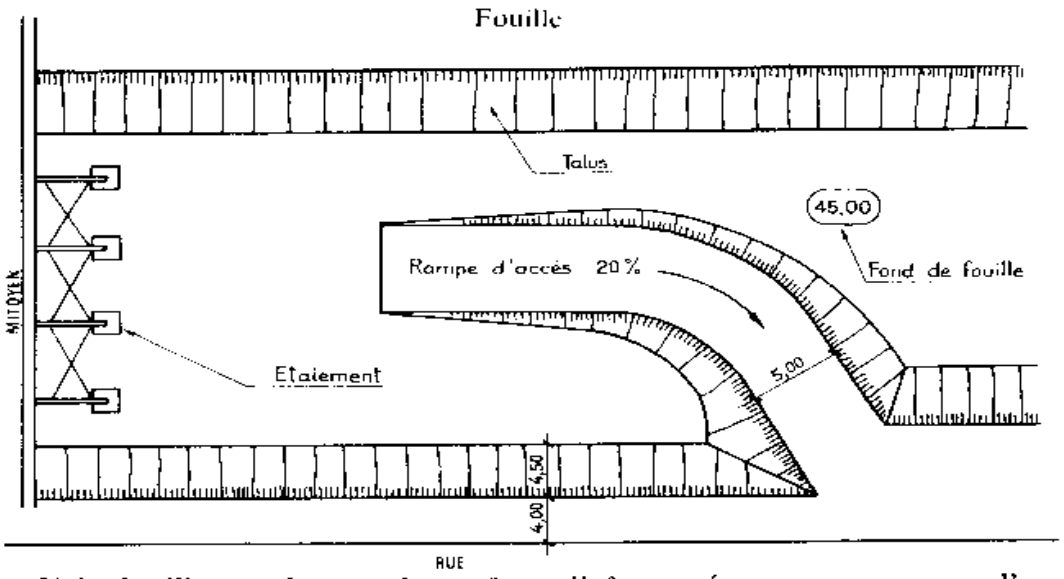
Dans le cas où une couche de protection n'est pas exécutée rapidement, la surface du sol est salie par les travaux et les intempéries. Aussi, avant l'exécution des travaux de bâtiment, faut-il procéder à un autre nettoyage moins important il est vrai et à un nivellement avec enlèvement des zones bourbeuses et comblement des ornières, ceci afin d'obtenir un sol sensiblement horizontal.

Fouilles en excavation

Lorsque le bâtiment comporte des sous-sols, il faut enlever un important volume de terre. Les procédés employés et le matériel sont différents selon la profondeur à atteindre mais le problème de l'évacuation des déblais est délicat car il implique la recherche d'une décharge d'accès facile. De plus les problèmes de sécurité du travail sont importants et font l'objet d'une réglementation précise.

Les petites fouilles sont réalisées au moyen d'une pelle mécanique travaillant sur le bord.

www.4geniecivil.com



Si la fouille est de grande surface, il faut ménager une rampe d'accès pour les camions (15 % à 20 % de pente), supprimée ensuite par la pelle travaillant en rétro. Notons que la pelle classique tend à être remplacée par le « chargeur » dont la puissance est généralement supérieure.

Dans le cas de fouilles profondes et sans possibilités d'accès, les terres sont remontées à la grue. L'engin de terrassement est également sorti à la grue mais il arrive qu'il soit parfois plus économique de l'abandonner dans la fouille.

La fouille est bordée par un talus dont la pente est la plus raide possible ; une feuille plastique posée dessus empêchera l'eau de le dégrader et de causer des éboulements.

Le niveau de la nappe doit être à 1 m au moins sous le fond de fouille. Dans le cas contraire des précautions particulières sont à prendre.

Quant aux terrains instables ils doivent être blindés et posent de sérieux problèmes de sécurité.

Les moyens de transport utilisés pour l'évacuation des déblais seront choisis de manière que leur circulation sur le chantier ne provoque aucun dommage aux fouilles elles-mêmes.

Cas particuliers

L'entrepreneur de terrassement doit parfois effectuer des prestations complémentaires pour d'autres lots de travaux.

On citera en particulier :

— *les tranchées pour canalisations de distribution de fluides.* Les entrepreneurs de pose de canalisations d'eau, de gaz, d'électricité ou de

www.4geniecivil.com

téléphone ne sont pas toujours équipés pour effectuer le terrassement des tranchées qui leur sont nécessaires. Le lot Terrassement doit alors se charger de ce travail. Ce problème, techniquement simple, est d'une réalisation délicate car il entraîne généralement des interventions successives au moment où l'entrepreneur de terrassement a quitté les lieux.

— *la plate-forme pour le battage des pieux*. Les batteurs de pieux, quel que soit le système employé, demandent en effet un terrain sommairement préparé pour permettre l'évolution de leur matériel lourd. Il faut en conséquence :

— une plate-forme de niveau, sans obstacle (hauteur libre 7 à 9 m), assainie et maintenue hors d'eau pour permettre le déplacement des sonnettes et la circulation des véhicules d'approvisionnement :

— des pieds de talus à 50/70 cm de l'axe futur des pieux,

— des rampes d'accès pour le matériel (25 % maximum),

— une portance suffisante du sol.

En ce qui concerne ce dernier point, les sols de portance médiocre doivent être améliorés soit par l'exécution d'une couche de grave-ciment de 15 à 20 cm d'épaisseur, soit par la mise en place d'un tapis en textile synthétique non tissé recouvert de 20 à 30 cm de grave.

— *les masses rocheuses*. Les terrassements en terrain rocheux sont relativement rares. En revanche la rencontre de blocs n'est pas exceptionnelle. Leur enlèvement ne doit faire l'objet de supplément qu'à partir d'un certain volume unitaire fonction de l'importance du chantier (0,5 M^3 au plus et 10 % au plus du total des fouilles).

— *le captage des nappes vagabondes*. Parfois, dans des remblais récents dont la surface est étanchée, se forment des nappes d'eau mal délimitées et au débit capricieux. La solution de ce problème est souvent ardue.

Les conditions atmosphériques

Les travaux de terrassement s'effectuant à l'air libre, ils sont soumis aux conditions atmosphériques qui y règnent, fonction bien souvent des saisons.

Beaucoup de terrains changent de consistance sous l'effet de la pluie ou du gel.

Les périodes favorables pour les travaux sont constituées par l'été et un temps sec et chaud, sans vent.

Les périodes acceptables sont le printemps et l'automne, sous réserve qu'ils ne soient pas trop pluvieux, ainsi qu'un été humide car les sols mouillés sèchent rapidement.

L'hiver est la mauvaise saison ; le chantier est souvent rendu impraticable par le froid, le gel et les longues périodes de pluie.

www.4geniecivil.com

Les conditions atmosphériques ont une incidence importante sur le calendrier des travaux : ils constituent une cause essentielle de retard sur le chantier lorsque la date de démarrage a été mal choisie ou lorsque le planning a négligé de prévoir une période neutralisée à cet effet. Par contre, les retards ou ouvrages spéciaux nécessités par des pluies diluviennes, sortant de la normale, ne font pas partie des aléas que doit supporter l'entrepreneur : le Maître d'Ouvrage doit supporter une partie des frais supplémentaires. Cette éventualité doit être prévue au Cahier des Charges pour éviter des discussions généralement orageuses !

Les terrains en pente

Il est rare que les terrains de grande surface nécessaires à une usine ou un entrepôt soient parfaitement plans. Ils présentent souvent une pente générale. Le problème consiste à déterminer un niveau 0,00 qui entraîne le minimum de terrassements tout en permettant une mise en place facile des réseaux d'assainissement ; en effet ceux-ci sont longs et doivent se raccorder sur les exutoires existants sans nécessiter de relevage.

Plusieurs catégories de solution sont possibles :

– remblayer en matériaux d'apport toute la surface en dessous du point haut du terrain. L'épaisseur étant variable, cela peut entraîner à la longue des tassements différentiels.

– réaliser un mouvement de terre ; la partie haute est déblayée et les déblais sont utilisés pour remblayer la partie basse. Sur cette plateforme horizontale le niveau final est obtenu par une épaisse couche de matériaux de bonne qualité (35 cm de sable ou 25 cm de grave tout-venant).

Cela suppose bien entendu un sol ayant par lui-même une certaine portance qui peut d'ailleurs être améliorée par stabilisation aux liants.

La solution à adopter ne peut être déterminée qu'après une étude géotechnique du terrain (un point de sondage tous les 500 m² environ) et un chiffrage des différentes solutions qui doivent tenir compte des possibilités d'approvisionnement en matériaux et de la distance des décharges.

Les remblais

Un remblai est une couche de matériaux rapportés sur le terrain naturel d'une épaisseur suffisante pour obtenir le niveau définitif.

Un remblaiement est indispensable dans le cas suivants :

— la profondeur du décapage est supérieure à l'épaisseur du dallage futur et de sa fondation,

— le terrain doit être mis à l'abri des inondations,

— le dallage doit être placé au niveau de la plate-forme des camions ou des wagons,

www.4geniecivil.com

Les épuisements

Une fouille doit être maintenue au sec afin de permettre le coulage du béton, indépendamment de la possibilité de travailler convenablement. Pour les venues d'eau faibles et normalement prévisibles (eau de pluie, fonte des neiges), des rigoles et un puisard de collecte avec pompe immergée sont suffisants. Cette prestation est incluse dans l'ensemble du forfait.

Dans le cas de venue d'eau imprévisible (source, montée de la nappe, etc.) il faut mettre rapidement en place des pompes d'épuisement.

Le rédacteur doit prévoir en conséquence des prix de bordereau pour cette dernière hyopthèse :

— un prix forfaitaire pour la mise en place du matériel,

— un prix horaire de fonctionnement compte tenu de la puissance de la pompe.

Protection des remblais de grande surface

Dans le cas de terrassements exécutés sur une grande surface, donc sur une période relativement longue, il faut pouvoir évacuer les eaux de ruissellement. En effet en cas de pluies abondantes et prolongées, l'eau pénètre dans le sol et le détrempe ; il perd alors toute cohésion, devient boueux et les engins de chantiers circulent difficilement.

Il est donc conseillé de dresser le terrain avec de légères pentes et de prévoir des fossés pour ramener les eaux vers un exutoire. Ce sera l'égout public si c'est possible mais il faut dans ce cas installer une fosse de décantation avant de rejeter pour retenir les fines particules qui colmateraient rapidement la canalisation, sinon on prévoit de grands puisards (1,50 × 1, 50 × 1 m profondeur) remplis de cassons de béton. Enfin les fossés gênent la circulation des engins et il faut les entretenir.

Cette période des terrassements est en général assez courte car l'entrepreneur doit exécuter le réseau d'assainissement et le relier à l'exutoire le plus rapidement possible. Une planification détaillée est donc nécessaire pour le bon enchaînement des opérations.

Le Maître d'Œuvre n'oubliera pas de consulter la plus proche station météorologique qui pourra lui procurer une prévision approchée du temps pour la période envisagée.

Une autre solution prévoit la mise en place d'une forme en matériaux résistants mais néanmoins facile à démolir pour permettre l'exé-

www.4geniecivil.com

cution ultérieure des fouilles. Après remise en état, cette forme constituera la fondation du dallage.

On utilise soit la grave-ciment en 20 cm d'épaisseur, soit la grave-bitume en 12 cm ; ces épaisseurs sont nécessaires pour permettre la circulation des engins d'approvisionnement lourds (camions, bennes automotrices). Ces graves traitées sont peu sensibles à l'eau et le nettoyage des boues s'exécute facilement. La mise en œuvre peut s'effectuer par presque tous les temps, sauf sous la pluie qui délave le mélange. Cela permet de respecter le planning.

Des formes analogues peuvent être exécutées à base de laitier de haut-fourneau.

La protection peut également être constituée par une feuille de plastique épais armé ou une nappe de non-tissé. Dans le premier cas la circulation des petits engins est possible ; dans le second cas, il faut recouvrir la nappe de 30 à 40 cm de grave tout-venant, simplement compactée.

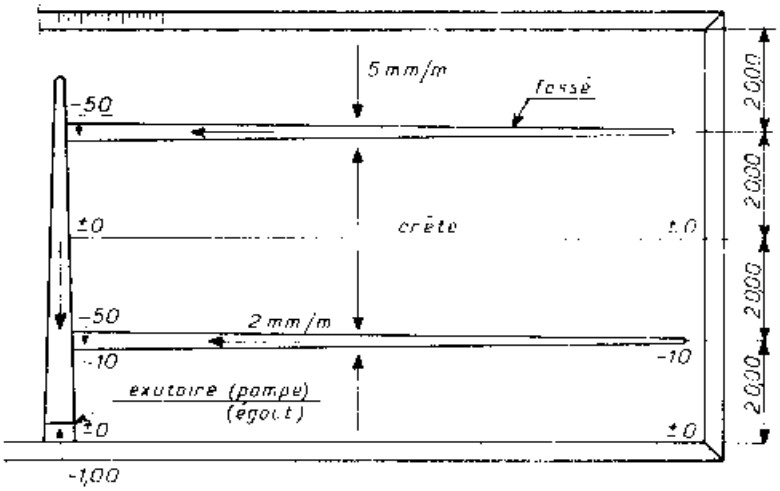


Fig. 2.2 — Assainissement de fouilles.

Dans le cas de terrain limoneux ou argileux détrempés, la surface sera stabilisée aux liants hydrauliques.

Dans tous ces cas l'eau de pluie stagne à la surface et est évacuée soit par évaporation naturelle, soit par balayage sommaire à l'engin.

Le nettoyage des chaussées publiques

Le Code de la Route interdit le dépôt de boues, salissures et objets glissants sur la chaussée. Or un camion sortant d'un terrain détrempé

www.4geniecivil.com

rejette une importante quantité de boue par l'intermédiaire de ses roues arrières surtout si elles sont jumelées.

Il faut donc nettoyer la chaussée au droit de la sortie des camions et sur une distance qui peut atteindre une centaine de mètres.

Tranchée commune

Chaque canalisation enterrée nécessite une fouille en tranchée souvent parallèle à une autre tranchée peu éloignée. Aussi le projeteur doit-il s'efforcer de grouper les canalisations dans une seule et même tranchée de dimension plus importante mais relativement moins coûteuse. Une note technique du C. S. T. B. précise les conditions d'exécution et de mise en place des divers réseaux. Bien entendu cette tranchée est réalisée autant que possible sous un trottoir. On distingue :

— dans l'axe et à fond de fouille la distribution d'eau à 1 m de profondeur,

— côté façade du bâtiment, à 50 cm de l'eau et à 80 cm de profondeur, les câbles d'électricité basse tension,

— côté opposé à l'électricité, à 50 cm de l'eau et à 70 cm de profondeur, la canalisation de gaz, qui peut ainsi passer au-dessus des câbles pour le branchement,

— sous fourreau, le téléphone à 50 cm du gaz ou à 30 cm de l'électricité.

Les croisements avec les canalisations E.U. et E.P. se feront en ménageant un espace de 20 cm.

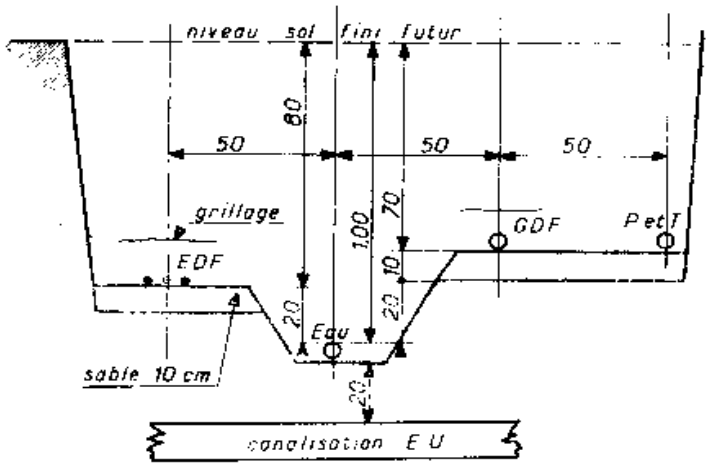


Fig. 2-3

Cas particuliers

Remblais hydrauliques :

Le remblai hydraulique consiste à refouler à l'intérieur d'une enceinte des matériaux dragués dans la mer ou dans le lit d'une rivière.

www.4geniecivil.com

Le feutre synthétique est constitué de fibres artificielles enchevêtrées. Il constitue un matelas perméable à l'eau mais qui empêche le passage des fines particules de terre (argile, limon).

Sujétions dues à la pluie :

Les pluies torrentielles ne sont pas exceptionnelles, surtout en automne. Elles causent de sérieux dégâts aux travaux de terrassement en cours.

La surface supérieure du sol est alors détrempée et transformée en bourbier dans lequel hommes et machines s'enlisent ; les remblais compactés se gorgent d'eau et leur portance diminue fortement.

Lors du retour du beau temps il faut laisser sécher l'eau superficielle puis décaper les zones souillées et recompacter les remblais.

Cet incident fait partie des aléas que doit supporter l'entrepreneur, sous réserve qu'il ait eu connaissance de la nature du terrain (rapport de sondage). Mais le Maître d'Ouvrage doit cependant en supporter également une partie si ces pluies sont réellement exceptionnelles.

Il est donc conseillé, dans le cas de temps douteux, de se mettre en rapport avec la plus proche station météorologique qui diffuse des renseignements valables pour les prochaines 24 h soit verbalement, soit par messages préenregistrés.

Plans de terrassements

Les plans de terrassements sont exécutés à partir du plan de géomètre et des plans de bâtiments. Ils indiquent le contour des fouilles et sont complétés par des profils, à intervalles réguliers et dans les deux sens, qui précisent le nivellement futur. Le contour déborde le bâtiment (1 m en moyenne).

Le rédacteur du Devis descriptif doit vérifier que sont indiqués sur les plans :

— les niveaux de fond de fouille forfaitaire,

— la délimitation des fouilles soit par les pieds de talus, soit par la crête selon les cas (important pour la reprise par le gros-œuvre),

— le lieu du dépôt des terres extraites des fouilles, si elles doivent être stockées sur le chantier,

— les palissades ou clôtures éventuelles,

— les possibilités d'évacuation des eaux,

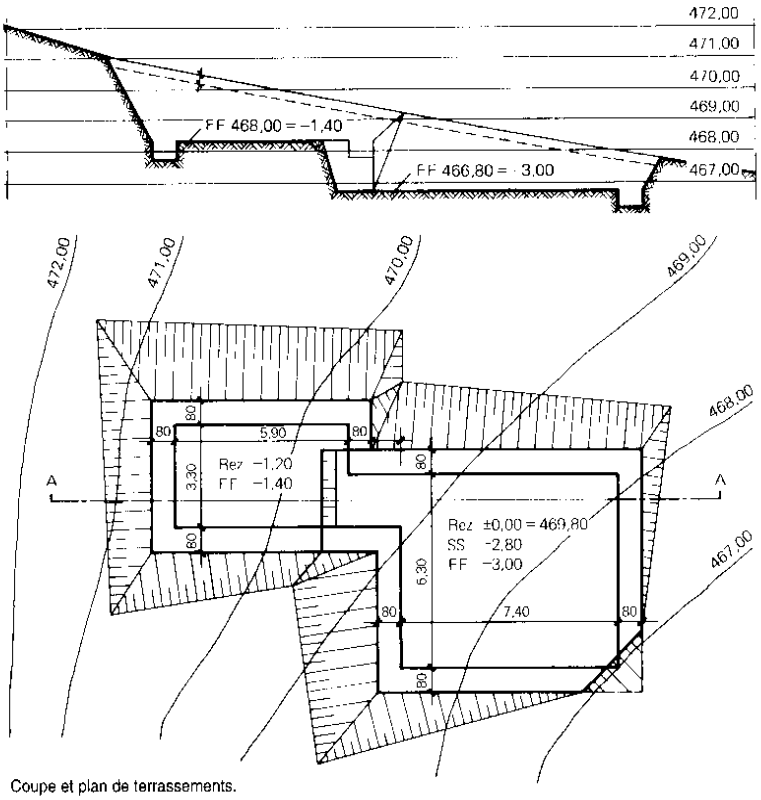
— les obstacles divers connus ou prévisibles (fondations existantes, bâtiments démolis, etc.),

www.4geniecivil.com

L'architecte ou l'ingénieur civil établit le plan des terrassements indispensable à l'entrepreneur. Ce plan comprend les principales indications suivantes:

- les dimensions générales de l'ouvrage,
- les dimensions des fouilles,
- les niveaux du terrain naturel (TN), des fonds de fouilles (FF), des sous-sols (SS),
- l'altitude du rez servant de niveau de référence (0,00),
- les limites de la propriété,
- l'indication éventuelle des courbes de niveaux, de canalisations existantes, de niveau présumé de rocher.

Avant toute fouille, il y a lieu de s'informer, auprès de tous les services intéressés, sur la présence éventuelle de canalisations (eau, électricité, téléphone, télévision, gaz, égouts) afin d'en établir un plan précis et complet. En cas de doutes, il faut faire exécuter des sondages prudemment à la main.



Coupe et plan de terrassements.

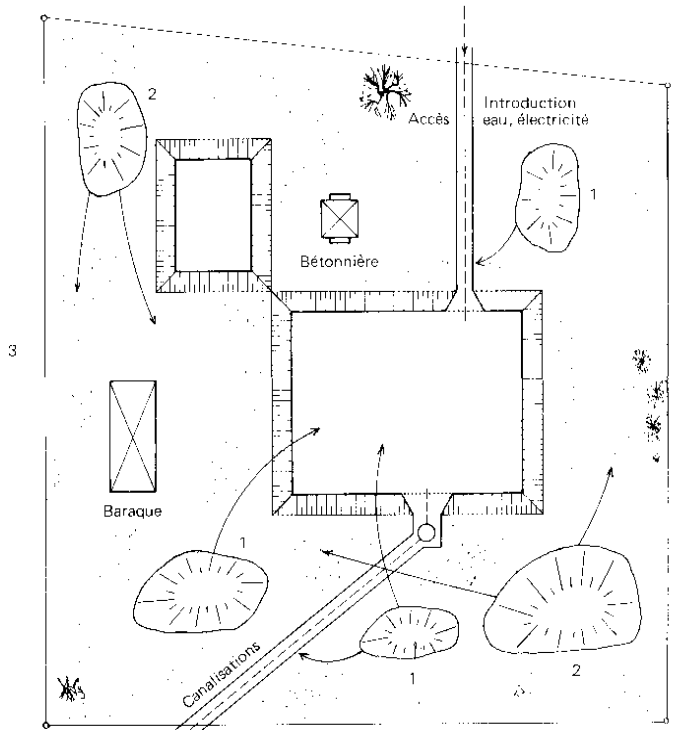


Schéma de mise en dépôt des terres.
Le plan de terrassement est étudié parallèlement au plan d'installation de chantier.
1. Terres servant aux remblayages.
2. Terre végétale pour futures plantations.
3. Aucun dépôt ni fouilles n'est possible chez le voisin sans une autorisation écrite. L'excédent des terres est évacué immédiatement.

www.4geniecivil.com

Le dessus des plate-formes doit correspondre à la sous-face de la forme sur laquelle repose le dallage. Mais compte tenu des différents revêtements de sol, ce niveau peut ne pas être constant sur toute la surface du bâtiment ; aussi le projeteur se reportera-t-il au devis descriptif du gros-œuvre pour avoir la composition des dallages et revêtements de sol.

Pratiquement, pour le dessin, le projeteur tracera son plan par grandes plates-formes séparées par des talus.

Plan des canalisations existantes

Les constructions neuves ne sont pas toujours édifiées sur un terrain vierge. Celui-ci a pu avoir une autre utilisation ou bien un équipement a été prévu (zone industrielle ou de rénovation).

Les éléments visibles en surface (tampons par exemple) figurent sur le plan de géomètre mais les éléments enterrés sont inconnus. Si cela est possible il faut dresser le plan des canalisations enterrées avant le début des travaux de terrassement.

Deux cas principaux se présentent :

— l'occupant précédent possède des plans détaillés des réseaux enterrés, ce qui est assez rare ; il y a lieu alors de vérifier néanmoins par des visites sur place et éventuellement par des sondages l'exactitude des données,

— il n'existe aucun plan mais sur place des éléments visibles indiquent des présomptions.

D'autre part, dans les zones périphériques des villes, des égouts anciens traversent des terrains privés ou longent des chemins déclassés. Des démarches doivent être entreprises auprès des Services publics pour qu'ils effectuent des recherches dans leurs archives afin de déterminer le tracé probable et vérifier si la canalisation n'est pas encore en service.

Une fois toutes les recherches terminées, un plan de récolement doit être monté et joint au dossier d'appel d'offres.

La présence de canalisations en fonctionnement entraîne souvent des retards dans les travaux car il faut les détourner.

Plans de recolement

Les réseaux et la voirie doivent faire l'objet de plans de recolement précis après leur exécution. Il y a intérêt à les faire exécuter par un géomètre indépendant des entreprises ayant réalisé les travaux.

www.4geniecivil.com

Sur ces plans seront figurés :

— les réseaux avec leur identification, les ouvrages enterrés, les branchements, les niveaux, les pentes,

— les bâtiments avec le niveau du rez-de-chaussée et le nombre d'étages,

— les voies de circulation et les parcs à voitures avec leurs axes de référence, les voies pompiers.

— les ouvrages enterrés.

L'ensemble sera à l'échelle de 1/200 (facile à manier mais lisible) et toutes les cotes de niveau seront rapportées au système N. G. F. en altitude et à des points géodésiques précis en plan.

2. Murs de soutènement. Talus

Chaque fois qu'il est nécessaire de créer une dénivellation brusque dans le sol naturel, il faut maintenir les terres par un mur de soutènement empêchant celles-ci de s'ébouler.

Le calcul de la stabilité de ces murs a fait l'objet de nombreuses études et cela depuis des siècles (Vauban) car c'est un élément important des Travaux Publics. Le lecteur voudra bien se reporter aux ouvrages de Coulomb, Rankine, Levy, Boussinesq, Resal, Caquot, Reimbert, etc. Notons que cet ouvrage fait à l'heure actuelle l'objet de programmes sur ordinateur.

Le principe est le suivant : la terre et la surcharge qu'elle supporte exercent une poussée oblique sur le mur ; le poids de celui-ci produit une force verticale ; ces deux forces se composent et donnent une résultante oblique qui doit tomber dans le tiers central du massif afin qu'il soit stable et soumis à aucune traction.

On utilise principalement deux types de murs de soutènement :

a) les murs massifs en maçonnerie ou en béton lorsque la hauteur est peu importante, le sol de fondation de bonne qualité et que l'encombrement n'est pas une gêne.

b) les murs en béton armé dans les autres cas : murs-chaise ou en T renversé ; les solutions avec contreforts sont peu employées car onéreuses. D'autres systèmes de murs de soutènement sont également utilisés mais essentiellement dans les Travaux Publics (terre armée, caissons métalliques, etc.).

Dans le premier cas le poids propre du mur équilibre la poussée des terres ; dans le second, c'est le poids des terres chargeant la semelle arrière qui assure la stabilité du mur.

www.4geniecivil.com

Le mur de soutènement est un ouvrage qui ne pardonne pas les erreurs de conception ou d'exécution. Le projeteur doit vérifier la stabilité en tenant compte des hypothèses les plus défavorables : densité des terres de remblais, nature du sol de fondation, surcharge sur le remblai, poussée d'eau éventuelle, etc.

Un mur de soutènement ne doit pas se renverser sous l'action de la poussée des terres et des surcharges éventuelles mais il est aussi indispensable qu'il ne puisse pas glisser sur sa base sous l'action de la composante horizontale de cette poussée. Il faut donc s'assurer également que le sous-sol est bon afin qu'il n'y ait pas à redouter une rupture par glissement d'ensemble. Enfin il faut accorder une attention particulière à l'action de l'eau : eaux agressives, eau d'infiltration ou remblais transformés en boue. Dans les régions accidentées, soumises à des pluies abondantes, à des gels et dégels fréquents, un ancrage par pieux ou par fondations profondes est nécessaire afin d'éviter des désordres. Si nécessaire, une bêche en partie avant protège la fondation du gel.

Un mur de soutènement doit être complété par un drainage efficace de la face arrière afin de neutraliser la poussée des eaux d'infiltration qui pourrait, au-delà d'une certaine limite, en provoquer le renversement. Le drainage est constitué par une couche de matériaux drainants, ou un tapis filtrant, et un collecteur en partie basse, avec des barbacanes pour exutoire. Les terres argileuses doivent être éliminées : l'argile remaniée, exposée à l'air et à l'eau, est en effet susceptible de gonfler, ce qui entraîne des efforts de poussée considérables auxquels le mur ne peut résister. Le compactage doit être conduit prudemment pour éviter des poussées accidentelles dangereuses.

Dans les régions soumises aux séismes, la stabilité du mur de soutènement doit être vérifiée en fonction des efforts indiqués dans les Règles parasismiques (Règles P. S. 1969).

Enfin l'implantation d'un mur de soutènement en limite de propriété peut entraîner d'importantes sujétions, en particulier en ce qui concerne la semelle, laquelle ne peut déborder chez le voisin si le mur appartient à un seul propriétaire. Il s'agit là d'un problème juridique délicat et qui ne doit pas être négligé.

Un mur de soutènement de grande longueur doit être coupé par des joints : sans épaisseur, tous les 6/8 m au plus, larges de 1 à 2 cm tous les 20/30 m et obturés sur la face arrière par des profils en aluminium ou un empilement de briques.

www.4geniecivil.com

Les murs de soutènement, d'une hauteur maximale de 5 m, ne retenant que des terres (ni route, ni voie ferrée) et constituant l'accessoire d'un bâtiment sont classés du point de vue Assurances dans la catégorie « Bâtiment ».

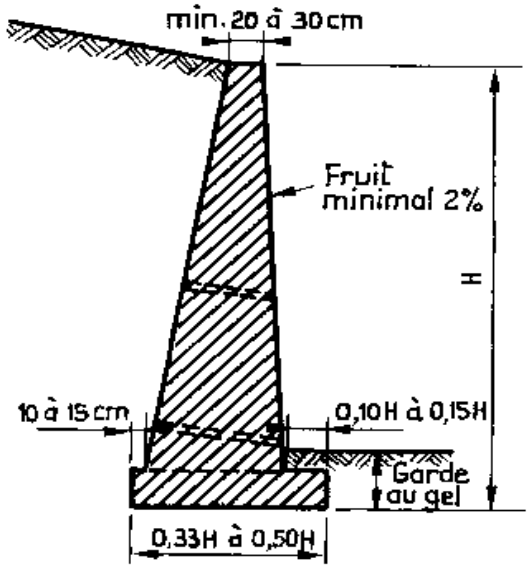
Calcul du mur de soutènement

Le calcul d'un mur de soutènement nécessite la détermination et la connaissance des éléments suivants :

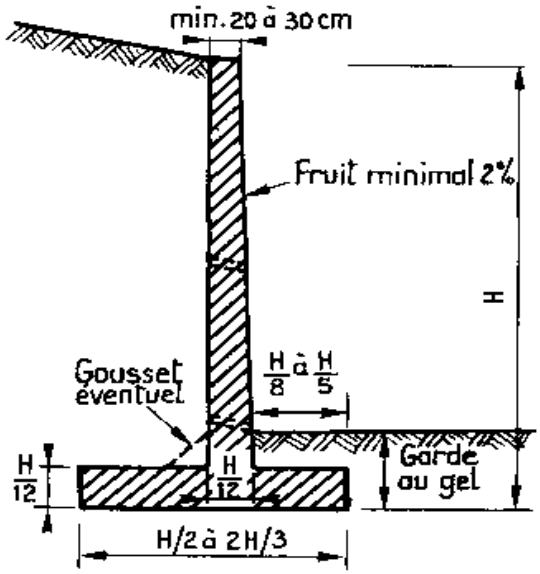
— poussée du matériau de remblai, fonction de sa densité, son angle du talus naturel, sa compacité, sa surface,

— poussée hydrostatique éventuelle,

— surcharges sur le remblai,



— Dimensions courantes d'un mur-poids.



— Dimensions courantes d'un mur lesté en béton armé.

Fig. 2.4 — Dimensionnement pour avant-projet.

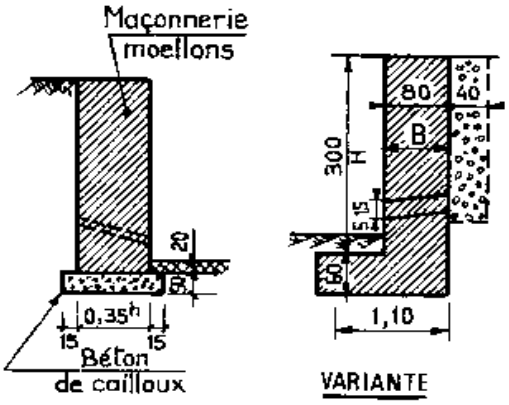


Fig. 2.5

www.4geniecivil.com

Murs en pierres sèches

Dans les jardins et pour de faibles hauteurs (2 m au plus) un mur de soutènement peut être réalisé en pierres sèches, ce qui lui assure un aspect pittoresque. Il est constitué par de grosses pierres rangées à la main par lits sensiblement horizontaux et calées à l'aide de pierrailles et d'argile.

L'épaisseur en est égale à la moitié de la hauteur, sous réserve qu'il n'y ait aucune surcharge sur le remblai. Des barbacanes doivent être ménagées pour assurer un drainage efficace de l'eau de ruissellement. La fondation sera constituée par des pierres liées au mortier jeté à la pelle.

Murs préfabriqués

Les murs de soutènement de faible hauteur se prêtent bien à la préfabrication ; ils sont alors constitués par des éléments de forme simple, de longueur parfois importante, relativement légers et dont la mise en place ne présente pas de difficulté.

Ils sont essentiellement utilisés dans les Travaux Publics et pour certains usages industriels.

En forme de T renversé leur hauteur est limitée à 2,50 m environ et leur semelle repose directement sur le sol. Pour éviter le soulèvement sous l'effet du gel, le terrain naturel est remplacé sur 1 m environ par une couche de grave propre, surmontée d'une couche de sable de dressement. La mise en place s'effectue à la grue mobile.

Les murs-caissons

Les murs-caissons sont des soutènements constitués d'éléments empilés les uns sur les autres sans liant d'aucune sorte. Souples et d'une mise en œuvre rapide, ils sont utilisés sur les terrains de mauvaise qualité, instables ou imprégnés d'eau. D'une manière générale, leur esthétique est « pittoresque » mais ils sont encombrants en plan. On distingue :

— *les gabions :* ce sont des parallélépipèdes en treillis métalliques remplis de grosses pierres, de 1 × 1 × 1 m ; on admet que l'épaisseur à la base doit être égale à la hauteur, puis on démaigrit par longueur d'un demi-gabion. Ils sont posés sur le sol simplement dressé.

— *les murs PELLER :* ils sont constitués par un empilement de poutrelles droites en béton armé constituant des caissons carrés à claire-voie ; l'ensemble repose sur une semelle en béton de 10 à 15 cm d'épaisseur et est rempli de terre et de tout-venant.

www.4geniecivil.com

— *les caissons ARMCO* : ce sont des caisses rectangulaires en tôle galvanisée ondulée, raidis aux angles ; ils sont posés sur le terrain décapé et dressé, puis remplis en matériau graveleux.

Pour les faibles hauteurs on utilise des éléments préfabriqués en béton en forme de H empilés à sec et remplis de terre ou de béton ; un mur-poids est ainsi réalisé, le parement pouvant être lisse ou agrémenté. Pour assurer la stabilité, le premier lit est scellé dans une semelle en béton de 15 à 20 cm d'épaisseur.

La terre armée

La terre armée est un procédé de construction de mur de soutènement inventé par M. Henri Vidal. Le principe en est le suivant :

— des armatures métalliques horizontales solidarisent les éléments d'un massif en terre ; les forces de frottement développées assurent la cohérence de l'ensemble qui est maintenu en façade par un parement mince et souple.

Le système est économique et il s'adapte sans difficulté aux plus mauvais sols de fondations ; il est insensible aux vibrations et aux séismes.

L'exécution n'en présente pas de difficultés particulières : pratiquement toutes les terres valables pour un remblai routier conviennent. Les armatures doivent être insensibles à la corrosion et sont constituées par des feuillards en acier galvanisé, acier inoxydable ou alliage d'aluminium. La peau de façade est constituée par des éléments métalliques en tôle profilée galvanisée ou en écailles de béton donnant un aspect décoratif.

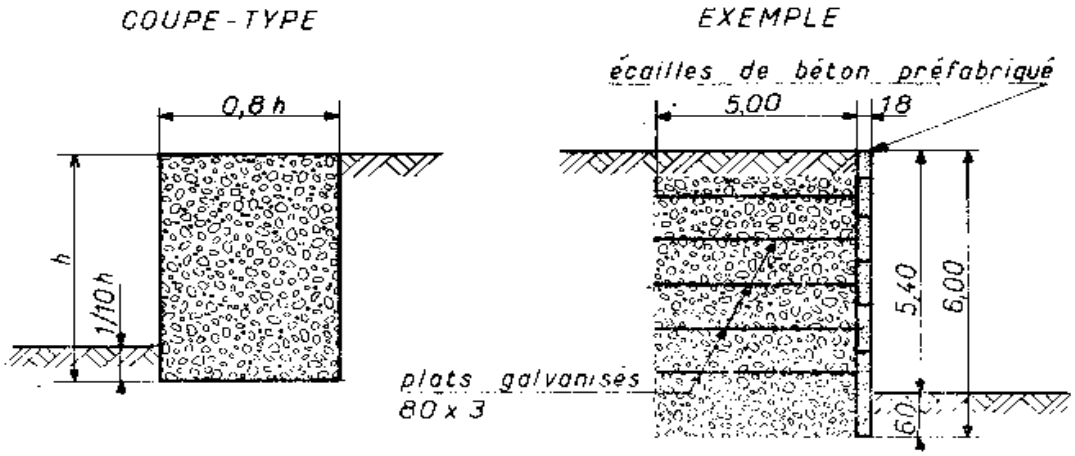


Fig. 2.7 — Soutènement en terre armée.

La mise en place de la terre s'effectue par couches successives qui sont ensuite compactées ; le prix en serait de 15 à 30 % moins cher que

www.4geniecivil.com

les ouvrages similaires en béton armé classique. L'épaisseur des couches est de l'ordre de 35 cm.

Le système est breveté et contrôlé par la société « La Terre armée ». Il est essentiellement utilisé dans les travaux publics mais doit pouvoir s'appliquer aux murs de faibles dimensions utilisés dans le bâtiment.

Ces ouvrages sont souples et supportent sans dommage des tassements différentiels importants.

En utilisant des granulats légers (argile expansée) pour les remblais, la charge sur le sol est réduite ce qui diminue les tassements dans le cas de terrains ne pouvant supporter que de faibles charges.

On peut également employer des cendres volantes humides pour réaliser des remblais en particulier sur des sols compressibles, car le matériau est léger. L'épandage s'effectue par couches de 40 à 50 cm, compactées à l'avancement.

Il faut par contre séparer ce remblai des couches supérieures par un film plastique ou par stabilisation et le protéger contre l'accumulation d'eau.

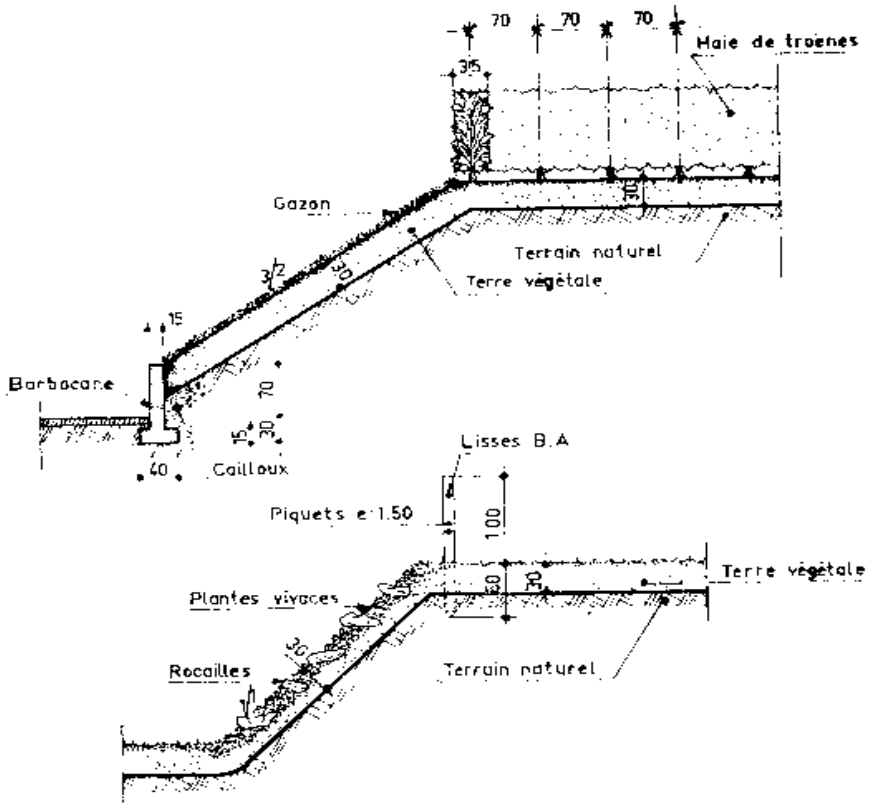
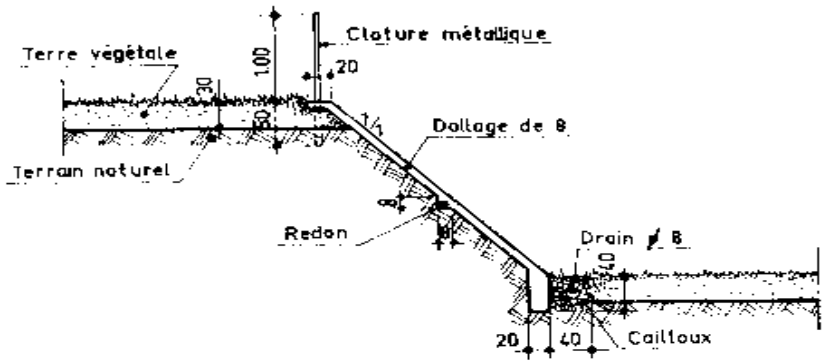
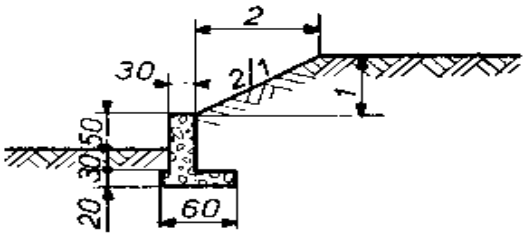
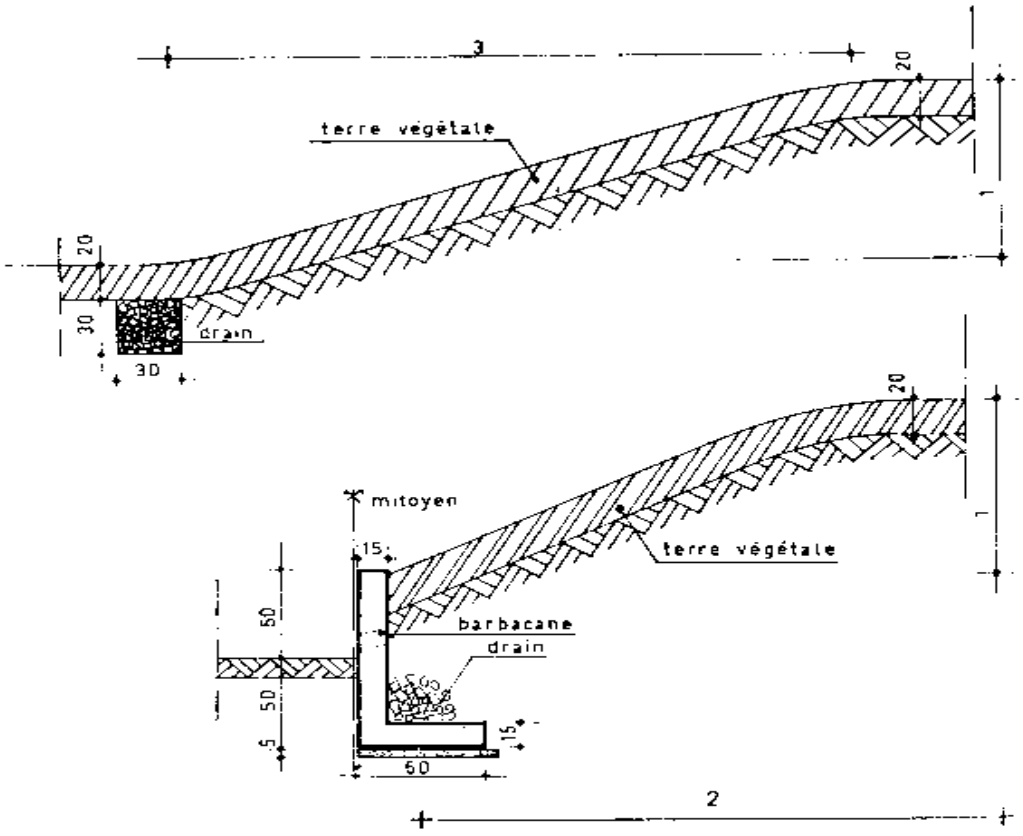


Fig. 2.8 — Talutage et murets de soutènement.

www.4geniecivil.com







www.4geniecivil.com

Caractéristiques des terrains de terrassements

Classification des terrains.

Les terrains faisant l'objet de terrassements sont classés selon les difficultés d'extraction:

- les *terrains ordinaires* comprenant les terres végétales, les sables meubles, les remblais de formation récente, les gravois;
- les *terrains argileux* ou caillouteux non compacts, soit les sols argileux, pierreux ou caillouteux, les tufs, les marnes fragmentées, les sables agglomérés par un liant argileux;
- les *terrains compacts* composés d'argiles compactes, de glaise (mélange sablo-limono-argileux), les sables fortement agglomérés;
- les *roches* pouvant être attaquées au pic ou à la pioche;
- les *roches dures exploitables au coin, à la pointerolle* ou au marteau piqueur;
- les *roches très dures* nécessitant l'emploi d'explosifs.

Dans la pratique professionnelle, on réduit la classification précédente à deux grandes catégories:

- les terrains *meubles* comprenant les terrains légers, ordinaires, lourds, très lourds; ces sols peuvent s'exploiter à la pioche ou avec des moyens mécaniques courants;
- les terrains *rocheux* comprenant les roches tendres, demi-dures, dures, très dures; ces terrains nécessitent l'usage de bêches ou de marteaux pneumatiques, de rippers ou d'explosifs.

Les terrains meubles sont formés d'un ensemble d'éléments de faible dimension plus ou moins agglomérés, d'une dimension inférieure à 200 mm. Ils sont compressibles et leur résistance à la traction est faible ou nulle. Les roches sont formées d'un ensemble d'éléments cimentés de grande dimension. Elles sont peu compressibles; elles ont une bonne résistance à la traction et au cisaillement.

La terre végétale ou humus, la tourbe, les déchets organiques (paille, sciure, bois, branchages) et la vase sont très compressibles et donc inutilisables en construction, sauf traitements spéciaux.

11.3
Angle des talus naturels.

Talus.

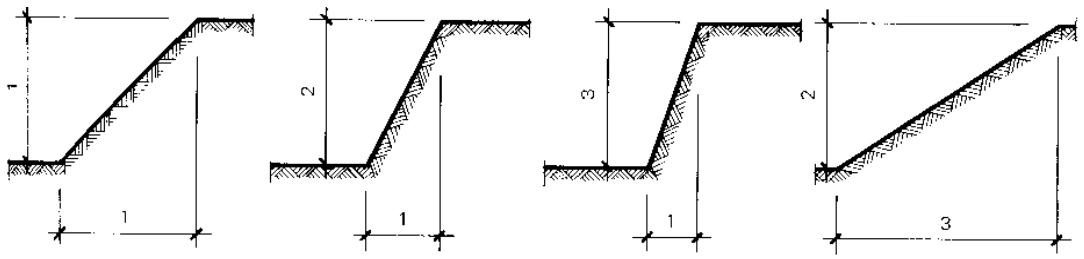
Lorsque des matériaux meubles tels du sable, des graviers sont abandonnés à eux-mêmes, ils se mettent en un tas limité par un talus dont la pente est presque toujours la même pour chaque espèce de terres. L'angle constant ainsi formé avec le plan horizontal, désigné par φ, s'appelle l'*angle de talus naturel.* C'est l'angle limite sous lequel la composante, suivant le plan du talus, du poids d'une particule de ces matériaux meubles est égale à la résistance au *frottement* qui l'équilibre. Le frottement est alors suffisant pour empêcher les particules de rouler les unes sur les autres. On peut donc dire que l'angle φ est l'angle de frottement des terres sur elles-mêmes.

Dans la pratique, on se trouve rarement en présence d'une terre parfaitement ameublie et dont les particules roulent librement les unes sur les autres. C'est ainsi qu'en pratiquant un déblai, on peut tailler tout d'abord la paroi presque à la verticale, tout au moins sous un talus beaucoup plus raide que le talus naturel admis pour la même terre. Il existe une force intérieure agissant entre les molécules du massif et qui s'appelle la *cohésion.* Mais si on laisse la paroi du déblai exposée à l'air, au bout d'un certain temps, les influences atmosphériques font disparaître l'effet de la cohésion, surtout la pluie qui détrempe les éléments du terrain et les sépare. La terre se comporte alors peu à peu comme si elle était ameublie.

Pente des talus

Nature des terrains	Densité t/m³	Déblais en terrain vierge ou non fraîchement remué				Remblais ou déblais en terrain rapporté ou fraîchement remué			
		secs		immergés		secs		immergés	
		φ	tg φ	φ	tg φ	φ	tg φ	φ	tg φ
Sable fin	1,6 – 1,8	30°	1/2	20°	1/3	30°	1/2	20°	1/3
Gravier, gros sable	1,8 – 1,9	35°	2/3	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Terre végétale	1,4 – 1,8	35°	2/3	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Marnes, terre argileuse	1,5 – 1,9	40°	4/5	20°	1/3	35°	2/3	20°	1/3
Pierres et terre végétale	1,5 – 1,9	45°	1/1	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Eboulis, cailloux	1,5 – 1,7	45°	1/1	40°	4/5	45°	1/1	40°	4/5
Rocher tendre ou fissuré	1,8 – 2,4	55°	3/2	55°	3/2	45°	1/1	45°	1/1

www.4geniecivil.com



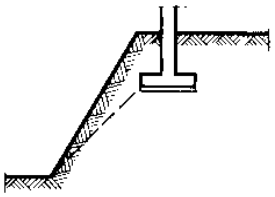
Terrain croulant env. 45°

Terrain tendre, résistant env. 60°

Terrain très compact env. 70°

Mauvais terrain, talus autoroute env. 35°

Pentes des talus habituellement admises.
La fouille est étayée si ces valeurs sont dépassées;
ces pentes peuvent être défavorablement influencées par divers facteurs:
eau contenue dans le sol, pluie, vibrations d'engins, charges à proximité des fouilles.



Fondation d'un chemin de grue pente min. 1/1

La norme allemande DIN donne les valeurs approximatives suivantes pour une hauteur de talus inférieure à 5 m:
- 45°, pente 1/1: terrains meubles avec faible cohésion;
- 60°, pente env. 2/1: terrains fermes ou avec cohésion;
- 80°, pente env. 5/1: roche tendre exploitable à la pioche;
- 90°, verticale: roche dure.

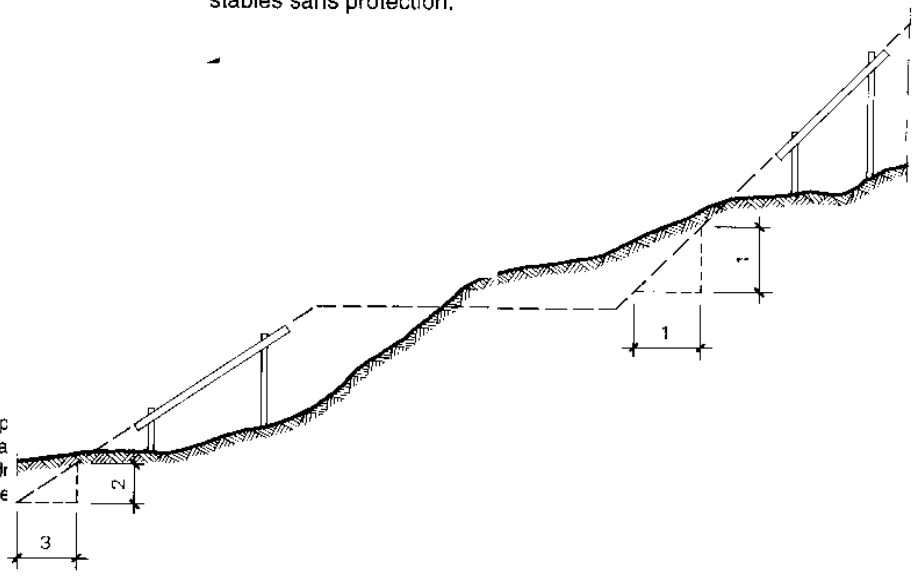
Les eaux météoriques seront captées au-dessus du bord supérieur des talus de la fouille. Selon les conditions locales, on le fera au moyen de simples fossés, de conduites de drainage, de bordures de dérivation.

La présence d'argile améliore la stabilité par temps sec mais facilite l'éboulement lorsque le terrain devient humide.

Selon la Recommandation SIA 229, la pente admissible des talus est déterminée en fonction des deux catégories de terrains:

– les *terrains non cohérents* se composant de gravier et de sable, caractérisés par l'absence presque totale d'éléments argileux et ayant une pente admissible indépendante de la hauteur; la pente maximum sera de 1/1 dans des terrains gravelo-sableux et de 2/3 dans du sable seul;

– les *terrains cohérents* contenant des éléments argileux et dont la résistance, et par conséquent la pente qui peut être donnée aux talus, dépend dans une large mesure de la teneur en eau; la pente maximum admissible du talus dépendant de la hauteur, pour des talus n'excédant pas 4 m de hauteur, sera de 3/1 dans des terrains stables, à condition de les protéger des eaux météoriques et de 2/1 dans des terrains stables sans protection.



11.5
Pente des talus admise lors du p
Remblais: pente généralement a
Déblais: pente généralement adr
Un gabarit détermine la pente de

www.4geniecivil.com

II. DOCUMENTS DE BASE POUR LES PROJETS

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.

www.4geniecivil.com

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

www.4geniecivil.com

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.

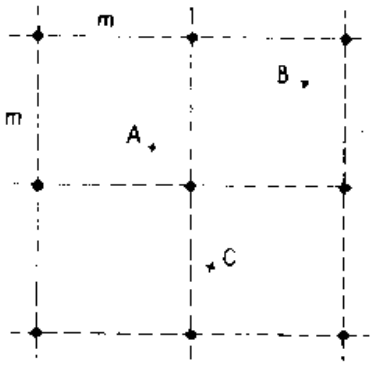


Fig. 1

Courbes de niveau

La figuration des points cotés sur un plan n'est pas une représentation facile à utiliser lorsqu'il s'agit de débuter 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.

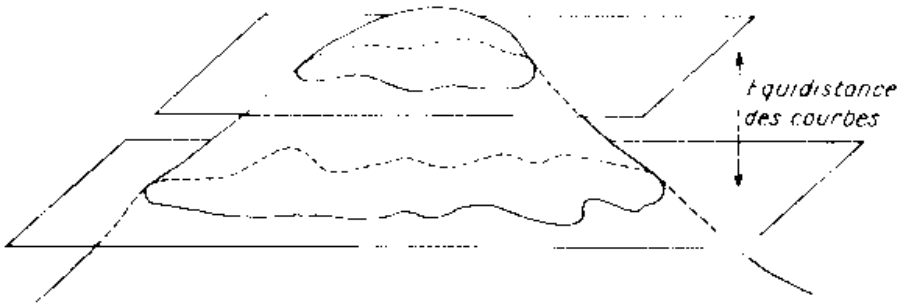


Fig. 2

www.4geniecivil.com

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 (fig. 4) et l'on voit apparaître l'intersection donnant le point M.

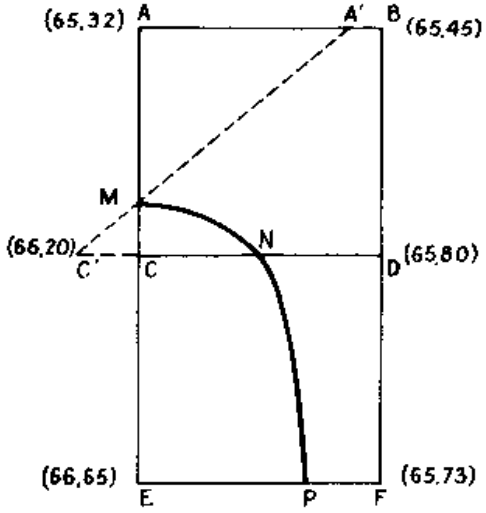


Fig. 3

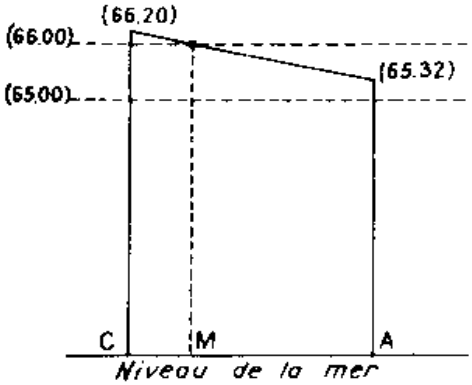


Fig. 4

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...

www.4geniecivil.com

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.

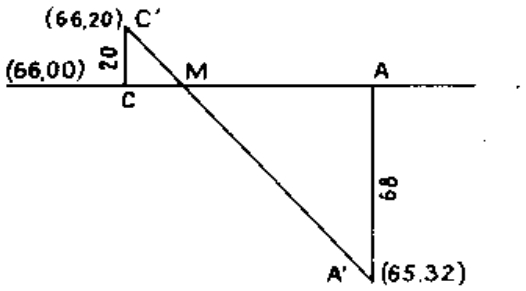


Fig. 5

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.

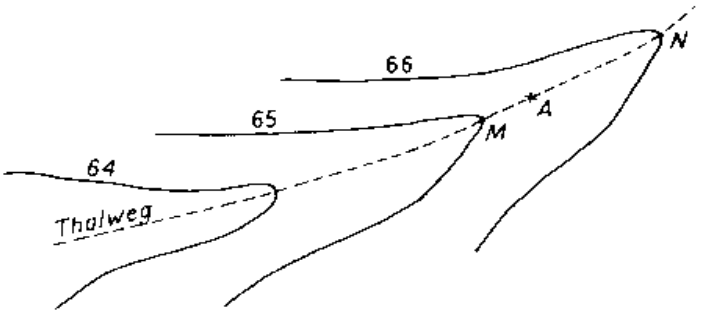


Fig. 6

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

www.4geniecivil.com

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.

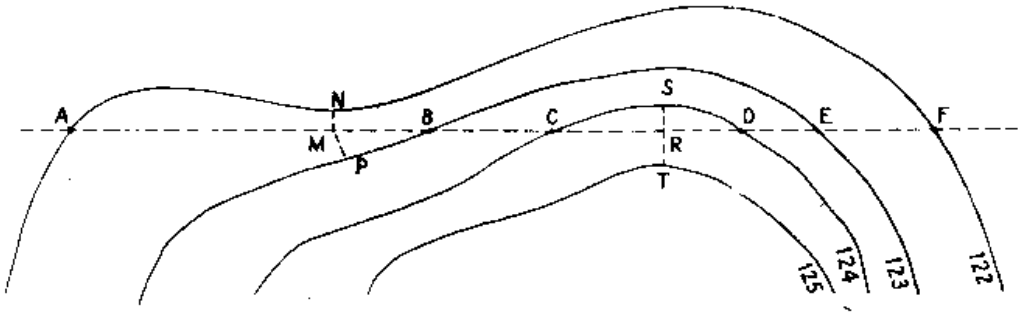


Fig. 7

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

www.4geniecivil.com

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).

www.4geniecivil.com

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.

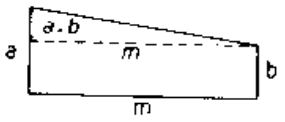


Fig. 9

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

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

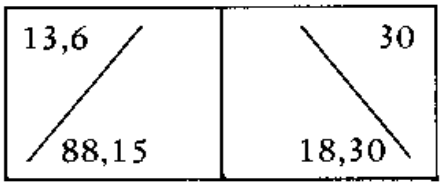
et on l'indiquera de l'une des manières suivantes, soit :

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, ⁄ pour une rampe, \ 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 déclitivés en millimètres par mètre. Au profil 3, par exemple, on implanterait sur le terrain un poteau portant les indications suivantes :



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

www.4geniecivil.com

On a toujours intérêt à pousser le calcul des déclivités jusqu'à la 4ème 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

www.4geniecivil.com

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 :

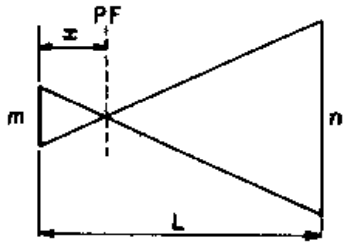


Fig. 10

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

ou

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

d'où

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

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

www.4geniecivil.com

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.

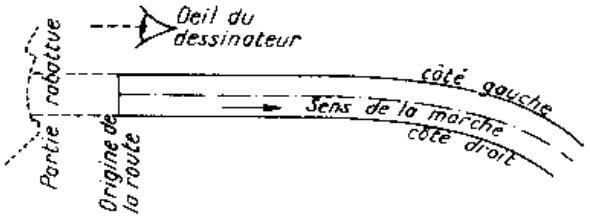


Fig. 11

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 relevées 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.

www.4geniecivil.com

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...

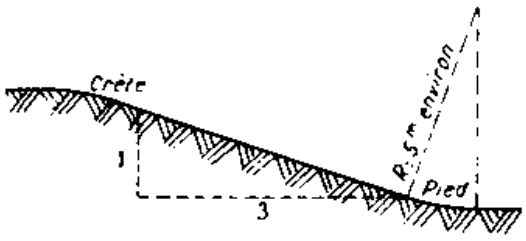


Fig. 13

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).

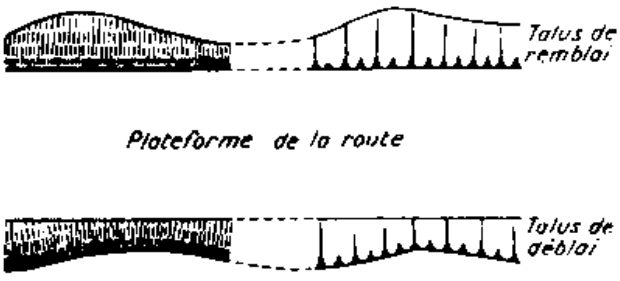


Fig. 14

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.

www.4geniecivil.com

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

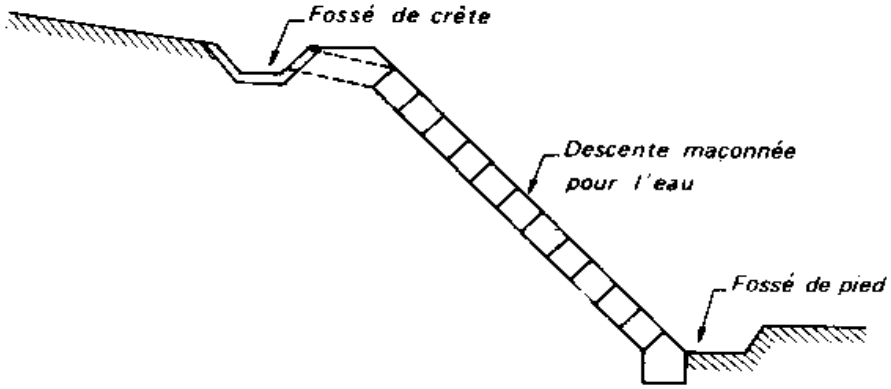


Fig. 16

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

www.4geniecivil.com

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.

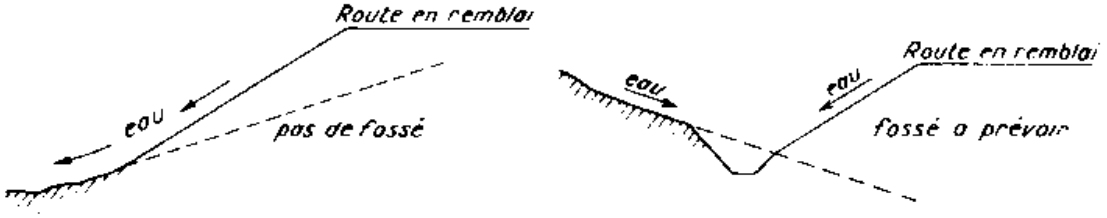


Fig. 17

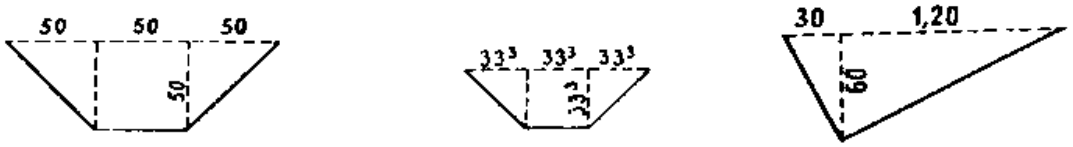


Fig. 18

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

www.4geniecivil.com

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).

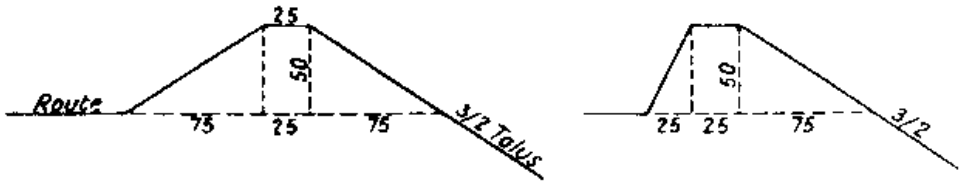


Fig. 19

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

www.4geniecivil.com

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.

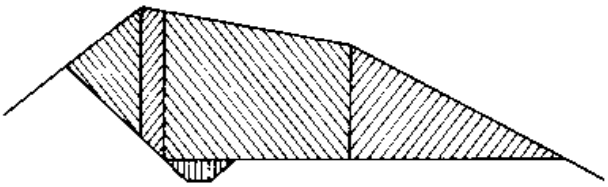


Fig. 20

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

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

$$A\,B = m$$

$$O\,C = x$$

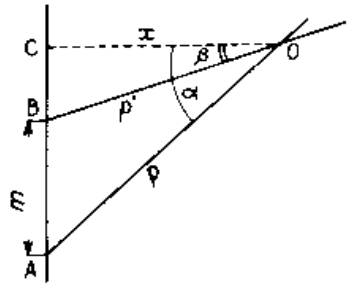


Fig. 21

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

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

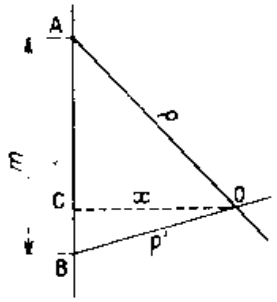


Fig. 22

www.4geniecivil.com

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

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

www.4geniecivil.com

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).

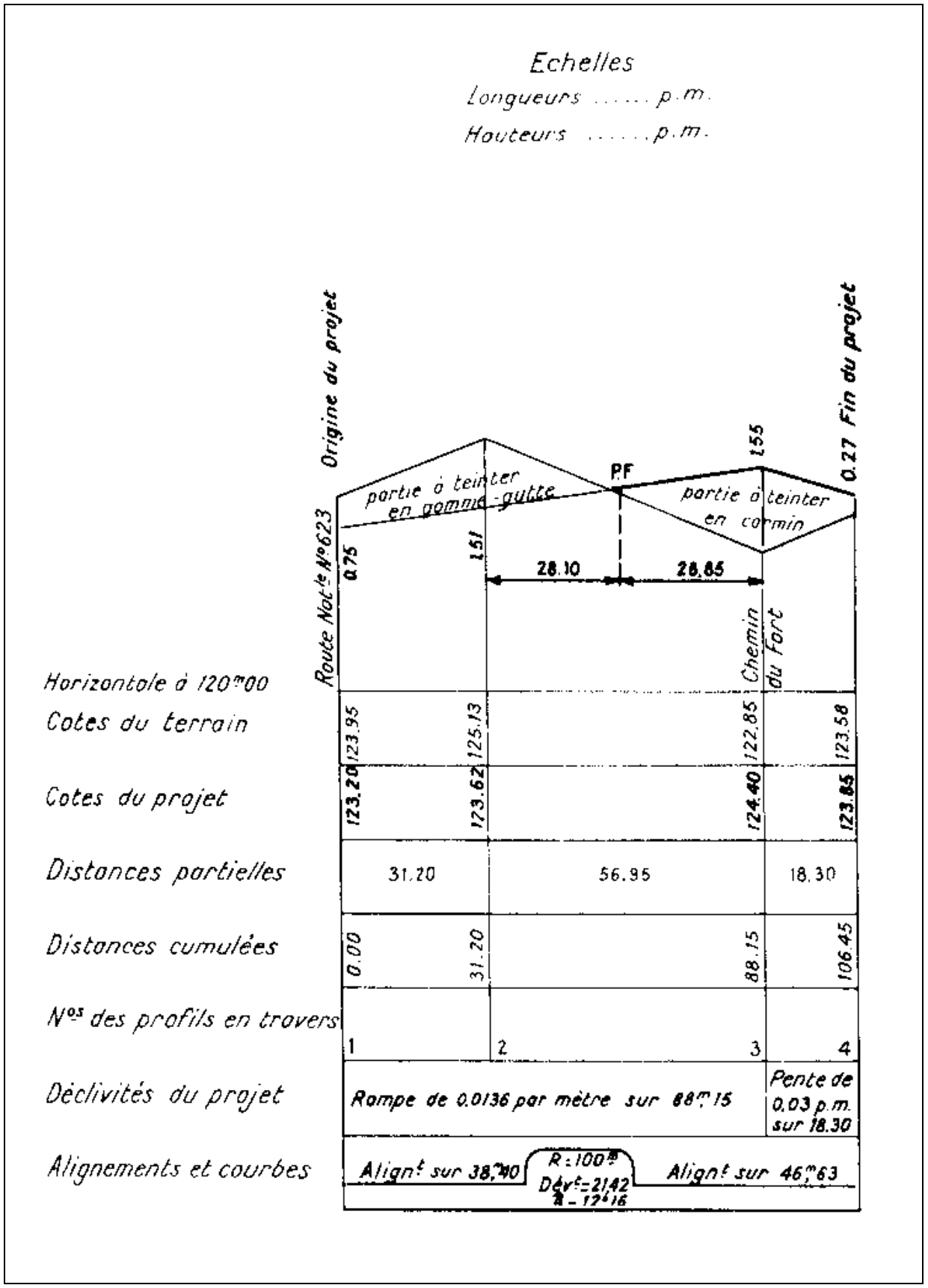
La figure 23 (en dépliant) montre le profil en travers terminé, avec les calculs des surfaces de déblai et de remblai.

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.

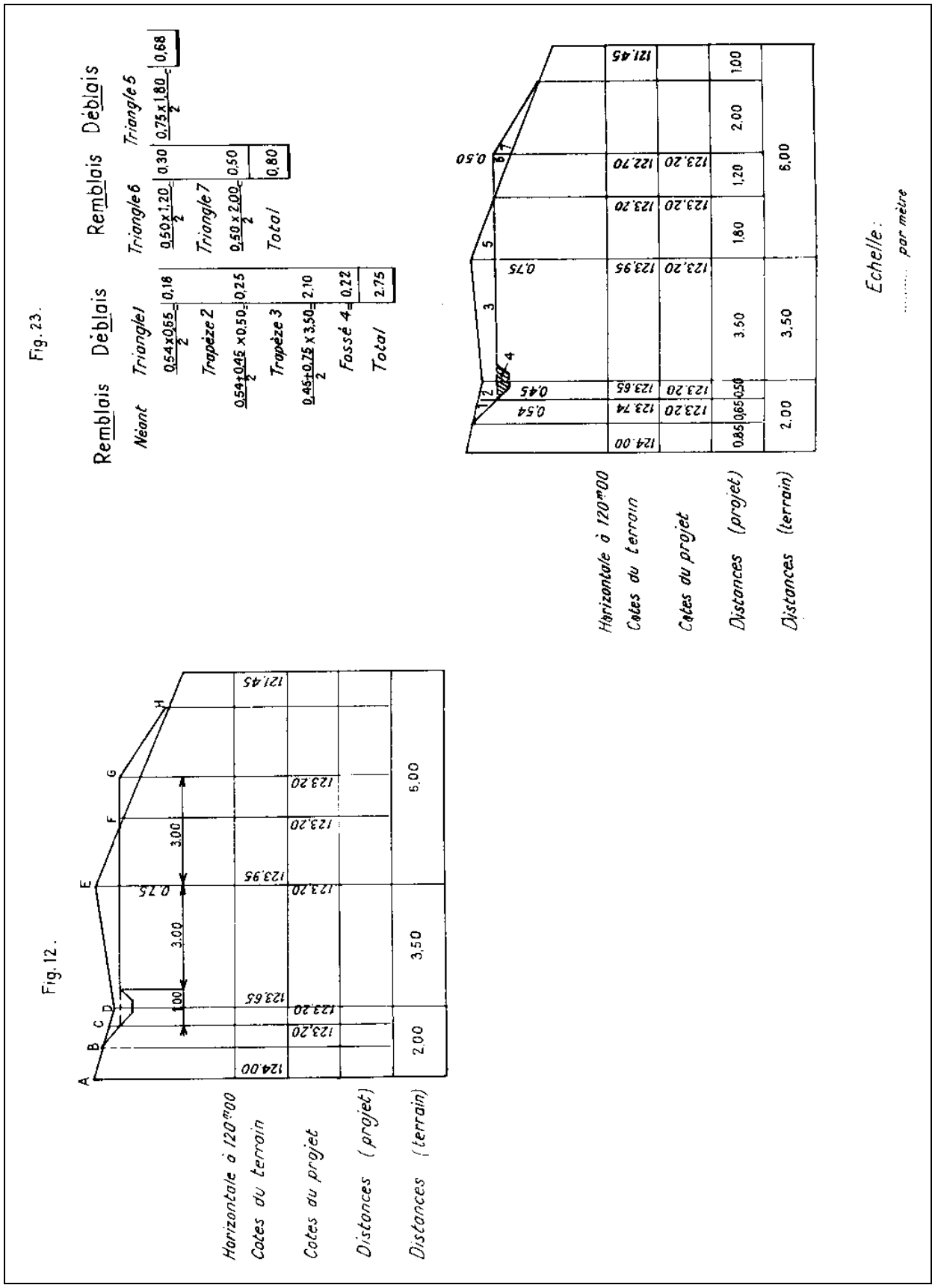
Lorsqu'on a une série de profils en travers à calculer, on peut employer une machine appelée planimètre. On parcourt le contour de la surface de déblai avec l'index de l'appareil ; un cadran indique un certain nombre qu'on multiplie par une constante en fonction de l'échelle du dessin, et on obtient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

www.4geniecivil.com



www.4geniecivil.com



www.4geniecivil.com

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 $a.p$.

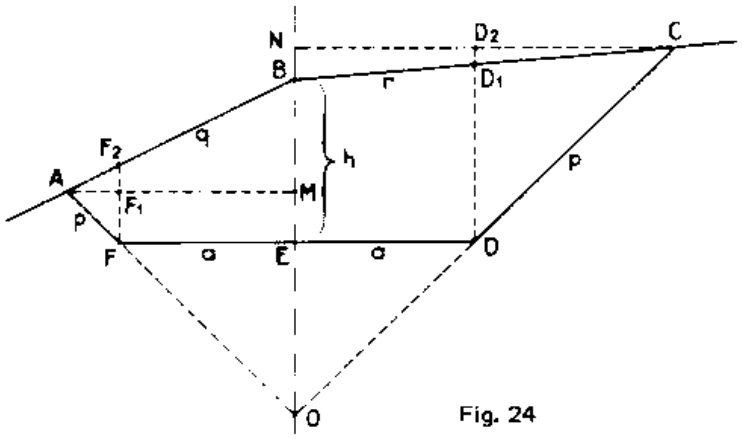


Fig. 24

On a donc : $BO = h + ap$

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

Pour le calcul de AF_1, on a :

$$FF_2 = h - aq$$

et

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

www.4geniecivil.com

Pour le calcul de D_2C, on a :

$$DD_1 = h + ar$$

et

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

La surface du triangle ABO est alors égale à :

$$\frac{1}{2} BO \times AM = \frac{1}{2}(h + ap)\left[a + \frac{h - aq}{p + q}\right]$$

$$= \frac{1}{2}(h + ap)\ \frac{ap + h}{p + q} = \frac{(h + ap)^2}{2(p + q)}$$

Celle du triangle BCO est égale à :

$$\frac{1}{2} BO \times CN = \frac{1}{2}(h + ap)\left[a + \frac{h + ar}{p - r}\right]$$

$$= \frac{1}{2}(h + ap)\ \frac{ap + h}{p - r} = \frac{(h + ap)^2}{2(p - r)}$$

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).

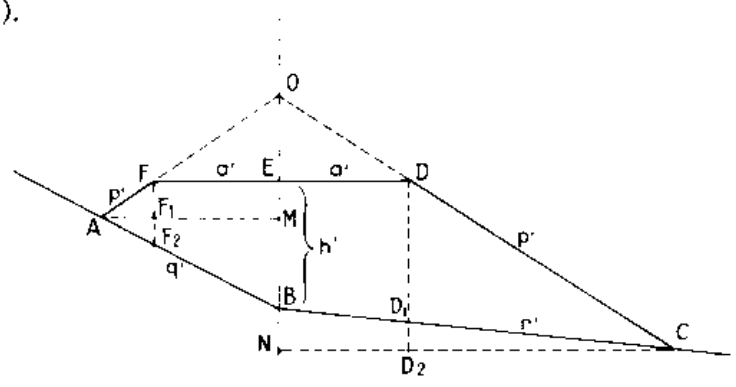


Fig. 25

www.4geniecivil.com

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.

Application

La construction graphique sur ordinateur à l'aide d'un logiciel de DAO facilite le travail du projeteur puisque les calculs sont effectués simultanément au dessin : il suffit de relever les positions des points dans un repère associé au profil. De plus, les éléments répétitifs tels les symboles, les cartouches, le profil type de la chaussée peuvent être mis en mémoire sous forme de bloc et rappelés si besoin.

Énoncé : à partir des données du tableau suivant, déterminez le profil en long qui minimisera les cubatures et les mouvements de terre en essayant d'équilibrer les volumes de remblai et de déblai, sachant que la déclivité ne doit pas dépasser 4 %, que tout raccordement dans le sens du profil en long est réalisé par un arc de cercle d'un rayon d'au moins 2 500 m et que la route est horizontale au départ et à la fin de la portion de projet étudiée. La largeur de la chaussée est de 10 m, le dévers du revêtement est de 2 % de part et d'autre de l'axe de la chaussée, la pente des talus de 2/1, les fossés ont une largeur de 20 cm en fond pour une profondeur de 30 cm.

www.4geniecivil.com

Profils	Dh (m)	-10.00 m	-5.00 m	0.00 m	5.00 m	10.00 m
1	0,00	110,95	111,05	110,82	110,76	110,45
2	50,10	110,74	110,45	110,21	110,02	109,74
3	100,30	108,13	107,95	107,78	107,14	106,69
4	150,90	106,05	105,32	104,98	104,32	103,78
5	201,20	105,77	104,37	103,75	103,14	102,31
6	251,50	104,96	104,52	104,12	103,78	103,64
7	301,90	106,84	106,77	106,67	106,54	106,33
8	351,50	109,87	109,79	109,75	109,76	109,84
9	402,00	110,01	110,20	110,25	110,37	110,58
10	450,00	109,87	110,34	110,60	110,94	111,47

Le tableau précédent donne les altitudes relevées à chaque profil en travers : à l'axe, colonne 0,00 m, à – 5,00 m et – 10,00 m à gauche de l'axe et à 5,00 m et 10,00 m à droite de l'axe. *Dh* représente la distance horizontale cumulée à chaque profil depuis l'origine.

Résolution graphique à l'aide d'AutoCAD LT

Commencez par la création des **calques** utiles au dessin : un calque PROJET en rouge, un calque TN en vert. Réglez l'unité de sortie sur papier pour que l'on puisse dessiner directement en mètres : case de dialogue IMPRIMER du menu FICHIER, dans l'encadré **Échelles**, entrez les valeurs suivantes :
1000 mm tracés = 1 unité dessin (1 000 mm dans la réalité = 1 unité écran).

Préparation du dessin

Créez un **style de texte** PROJET dont le texte sera en italique et la hauteur des caractères de 2,5 mm sur papier. Commande *STYLE¿* nom du style *PROJET¿* police *ROMANS.SHX¿* hauteur *0.0025¿* angle d'inclinaison *15¿* (degrés) ; pour toutes les autres questions, répondez par ¿ qui valide les valeurs par défaut.

Créez de même un style TN qui servira à tous les textes relatifs au terrain naturel : commande *STYLE¿* nom du style *TN¿* police *ROMANS.SHX¿* hauteur *0.0025¿* angle d'inclinaison *0¿*. Ceci permettra de dessiner les éléments de mise en page (textes et cartouches) en mètres ; par exemple, un format A4 aura pour dimensions 0,21 m par 0,297 m. Nous utiliserons ensuite les possibilités de **l'espace papier** pour régler l'échelle de sortie des profils.

Remarque

L'espace papier d'AutoCAD, dans lequel on bascule en cochant l'option ESPACE PAPIER du menu VUE, permet de faire de la **mise en page ;** on peut y juxtaposer plusieurs fenêtres qui sont autant de vues différentes des objets dessinés dans l'espace objet. On peut ainsi représenter un seul et même objet vu de plusieurs perspectives différentes. C'est la facilité de la mise à l'échelle grâce à la commande *Zoom* option *XP* spécialement conçue pour préparer la sortie sur papier.

Dessin du profil en long du terrain naturel

Dans le calque TN, dessinez en poly ligne le profil du terrain naturel : *POLYLIGNE¿* du point *0,110.82¿* au point *50.1, 110.21¿* au point *100.3,107.78¿* etc. au point *450,110.6¿*

www.4geniecivil.com

Dessinez le plan de comparaison, par exemple à 102 m, et la position des profils en travers : *LIGNE¿* du point *0,102¿* au point *450,102¿* puis *LIGNE¿* de *l'extrémité* de chaque tronçon de la polyligne à *perpendiculaire* à la droite figurant le plan de comparaison.

La visibilité du relief doit être accentuée pour la recherche du tracé du profil en long de la route. Multipliez par 10 la hauteur de chaque droite verticale marquant un profil en travers. Commande *ECHELLE¿*, sélection de l'objet : cliquez sur une droite, point de base : *intersection* entre la droite et le plan de comparaison, facteur d'échelle *10¿*

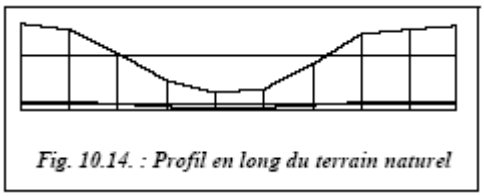


Fig. 10.14. : Profil en long du terrain naturel

Répétez ceci pour chaque profil (voir le résultat fig. 10.14.). Pour cette série de tracé où les accrochages *extrémité* et *intersection* sont très utilisés, passez en accrochage permanent (touche F3 ou menu OPTIONS / ACCROCHAGE AUX OBJETS, cochez les deux cases Extrémité et Intersection). N'oubliez pas de désactiver cet accrochage permanent en fin d'opération, par exemple, en appuyant à nouveau sur la touche F3.

Choix du tracé du profil en long du projet

Pour réaliser au mieux l'égalité des remblais et déblais, il faut trouver une droite horizontale qui partage le terrain naturel en deux surfaces égales. Ceci peut se réaliser graphiquement. Dans le calque PROJET, dessinez à vue une ligne séparant la figure en deux surfaces équivalentes (fig. 10.14.), puis mesurez la surface de remblai et les surfaces de déblai avec la commande *AIRE* : cela peut être très rapide si on est en accrochage permanent *intersection* et si on utilise l'option *Ajouter* pour obtenir directement la somme des deux surfaces de déblais qui sont séparées. Par approximations successives, en positionnant une ligne à 157,61 m on obtient deux surfaces de l'ordre de 5 190 m2. Dessinez la position réelle de cette droite qui est à l'altitude 102 + (157,61 – 102) / 10 = 107,561 m ; cela peut se faire graphiquement en appliquant la commande *ECHELLE* avec un facteur d'échelle de 0.1.

Il reste à positionner le tracé du profil en long de la route le plus symétriquement possible par rapport à cette droite.

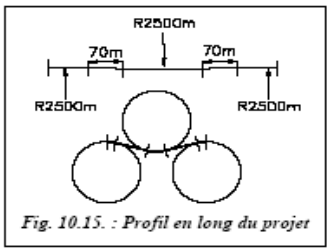


Fig. 10.15. : Profil en long du projet

Le tracé est choisi en fonction de critères de visibilité, de déclivité maximale, du type de route, etc. Nous choisissons pour simplifier un tracé symétrique composé de trois parties circulaires d'un rayon de 2 500 m, raccordées par des alignements droits d'une longueur de l'ordre de 70 m (voir fig. 10.15.).

Dessin du cercle de gauche : commande *CERCLE* ¿ de centre l'*ext*rémité gauche de la ligne de partage et de rayon 2 500¿

www.4geniecivil.com

Dessin du cercle de droite : *COPIER¿* le cercle précédent (option *D*ernier objet dessiné) de l'*ext*rémité gauche de la ligne de partage vers l'*ext*rémité droite.

Demandez un Zoom Etendu pour voir l'ensemble du dessin.

Dessin du cercle central : *CERCLE¿* option *TTR¿* (tangent, tangent, rayon), tangent aux deux autres cercles en partie supérieure, rayon *2 500¿*

Pour obtenir des alignements droits entre les parties circulaires, *DEPLACER¿* le cercle central de *0.5* m vers le haut puis dessinez deux segments tangents aux deux cercles : *LIGNE¿* de *tangent* à *tangent*... (voir figure 10.15. : l'allure réelle est en haut de la figure, seuls les arcs de cercles de raccordement sont dessinés ; en bas, un schéma permet de mieux visualiser l'allure du raccordement). Pour réduire les cercles aux arcs de cercles, utilisez la commande *COUPURE¿* (option *P* pour premier point) ; attention au sens positif de rotation, donnez les intersections comme points de coupure.

Positionnement du profil du projet sur le terrain naturel et lecture des points caractéristiques

On cherche à positionner le profil en long du projet (fig. 10.16. et 10.17.) symétriquement sur la droite de partage du terrain naturel (fig. 10.14.). Pour cela, *DEPLACER¿* l'ensemble du profil du projet depuis le *MILieu* de l'un des deux segments de raccordement de 70 m au point *perpendiculaire* à la droite de partage (à sa position réelle). Il ne reste plus qu'à lire les altitudes du projet au niveau de chaque profil en travers. Cela donne :

Profils	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z projet (m)	109,84	109,34	107,94	106,38	105,39	105,42	106,46	107,99	109,38	109,84

Il faut aussi connaître l'abscisse des **profils fictifs** : elles sont de *91,29* m, altitude 108,22 m et *292,31* m, altitude 106,18 m. On les ajoute en bleu sur le profil réel.

Pour exagérer le profil en long du projet de manière à améliorer la lisibilité, procédez de même que pour le terrain naturel au paragraphe 2.4.2. On déconnecte ensuite le profil réel du profil agrandi en déplaçant ce dernier en mode *ORTHO* vers le haut de l'écran (voir fig. 10.16.).

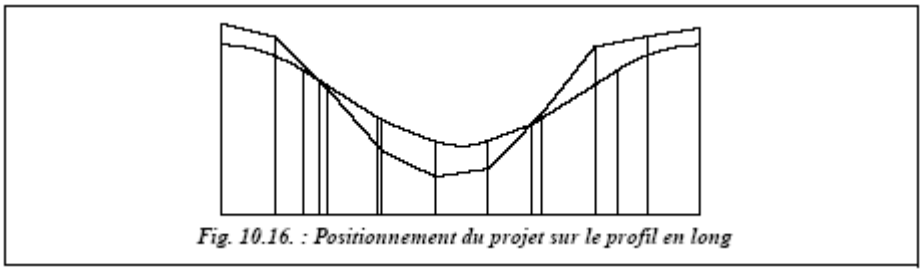


Fig. 10.16. : Positionnement du projet sur le profil en long

www.4geniecivil.com

Dessin du profil complet en espace papier

Passez en espace papier, menu VUE / ESPACE PAPIER. Pour sortir ce profil sur format A4 horizontal, on dessine dans le calque 0 un *RECTANGLE¿* du point *0,0¿* au point *@0.297,0.21¿* (format A4 horizontal 29,7 cm par 21 cm). En espace papier, l'espace objet apparaît à l'intérieur de fenêtres qui sont dessinées avec la commande *FMULT¿* (ou menu VUE / FENETRE EN MOSAÏQUE / 1 FENETRE). Dessinez cette fenêtre dans le format A4 en laissant une marge de 1 cm. L'espace objet complet apparaît dans cette fenêtre mais les objets à l'intérieur de la fenêtre ne sont pas directement accessibles. Seule la fenêtre globale peut être modifiée. Pour accéder aux objets situés à l'intérieur, il faut passer en **espace objet local** avec le raccourci de commande *EP¿* ou en cliquant sur le bouton E de la barre d'outils. On peut alors régler l'échelle de sortie grâce à la fonction ***Zoom*** **option** ***XP*** : le dessin doit être sorti à l'échelle 1/2 000 pour entrer dans le format A4 horizontal (450 / 2 000 = 0,225 m) : donc entrez la commande *Zoom¿ 0.0005XP¿*. L'espace objet apparaît alors comme il sera sur un format A4. Il reste à centrer les objets dans la fenêtre avec la commande *PANoramique*. Vous obtenez en format A4 l'équivalent de la figure 10.17. après avoir ajouté les lignes du cartouche de légende. Sur cette figure, la taille des textes a été augmentée pour la lisibilité.

Remarquez que la symbolisation des raccordements et des alignements employée dans la rubrique « déclivité projet » est différente de celle proposée à la figure 10.11.

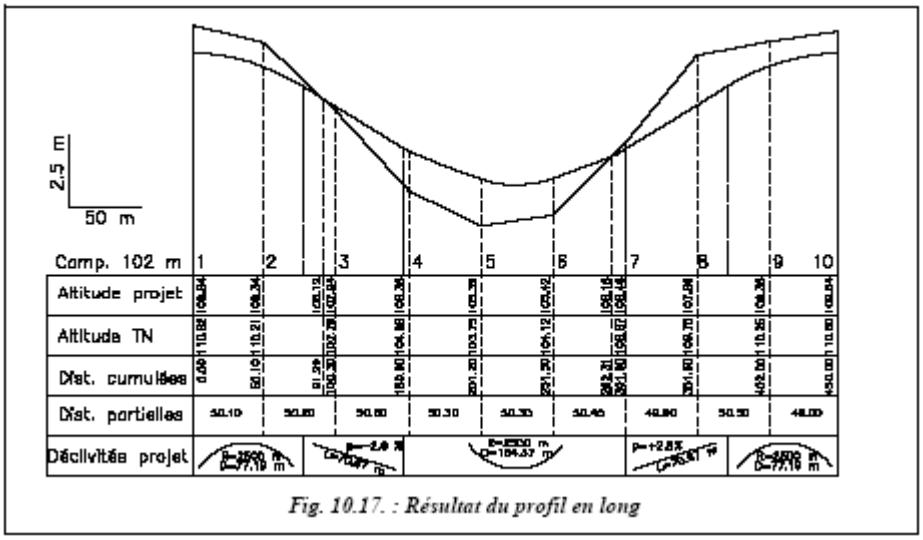


Fig. 10.17. : Résultat du profil en long

Les textes sont dessinés directement en espace papier dans leurs calques et polices respectives. Pour les textes écrits en vertical, on donne une orientation de 90 degrés.

www.4geniecivil.com

Il reste à imprimer le graphique : menu FICHIER / IMPRIMER, réglez le format du papier de l'imprimante ou du traceur, son orientation (paysage) et lancez l'impression ; on peut aussi préparer la sortie papier de ce graphique sans utiliser l'espace papier, mais l'espace papier est plus performant et nous vous conseillons de toujours l'utiliser.

Dessin d'un profil en travers

Préparez un profil type de la chaussée qui resservira dans chaque profil en travers. En espace objet dans un nouveau calque Projet_1 en rouge, dessinez le profil type de la chaussée (fig. 10.18.) : *LIGNE¿* du point, point quelconque en dehors du profil en long, au point *@5,-0.1¿* au point *@0.2,-0.4¿* au point *@0.2,0¿* au point *@0.2,0.4¿* puis *MIROIR¿* de ces objets en mode *ORTHO* par rapport au point de départ (*extrémité*).

Créez un bloc, ou groupe d'objets, à partir de ce profil type : menu DESSIN / CRÉER UN BLOC ; choisissez les objets puis donnez comme point de base le point d'axe de la chaussée et donnez un nom au bloc, par exemple Chaussée.

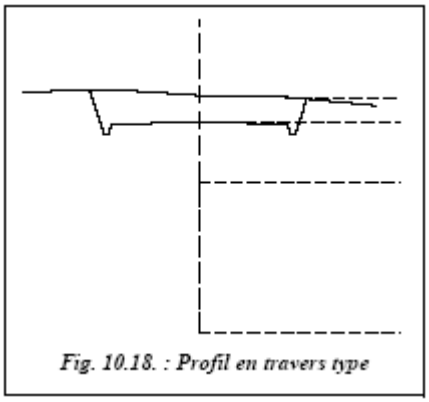


Fig. 10.18. : Profil en travers type

Vous vous appuierez sur le profil en long réel pour positionner facilement les profils en travers.

En zoom autour du profil n° 1 (fig. 10.18.), insérez le bloc Chaussée au point d'axe de la chaussée en le décomposant ; cochez la case décomposer de la boite de dialogue INSERER UN BLOC du menu DESSIN

Dans un nouveau calque TN1 en vert, dessinez le profil en travers du terrain naturel : *LIGNE¿* du point *-10,110.95¿* au point *-5,111.05¿* au point *intersection* de... au *point 5,110.76¿* au point *10,110.45¿*. Il reste à construire les points d'entrée en terre et l'emprise du projet au moyen de la commande *PROLONGER* (ou *AJUSTER*).

Le dessin des autres profils peut être fait de la même manière. Notez que pour dessiner facilement au niveau de chaque profil en travers, il faut déplacer l'origine du repère général ainsi : *SCU¿ Origine¿ .X¿* de (donnez un point sur le profil en travers, par exemple avec l'accrochage extrémité de...) YZ demandés *0,0¿*. Retour au SCU général avec *SCU¿¿*

Dans l'espace papier et dans le calque 0, *COPIER¿* le format A4 qui a été dessiné pour le profil en long et positionnez le à un endroit quelconque de l'écran. En zoom autour de ce format, dessinez le cartouche type et ajoutez-y les textes dans les plans Projet_1 et TN1 que l'on retrouve à chaque profil (fig. 10.19.).

www.4geniecivil.com

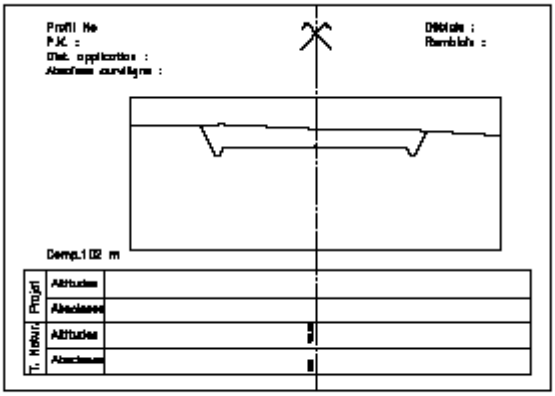


Fig. 10.19. : Présentation du profil en travers

Dessinez ensuite dans ce format A4 et dans le calques Fenêtres une fenêtre sur l'espace objet (menu VUE / FENETRES MOSAÏQUE / 1 FENETRE). Passez en espace objet local avec la commande *EO¿* et réglez à l'intérieur de cette fenêtre le facteur de zoom à *0.01XP* (échelle 1/100), puis centrez l'axe du profil sur celui du cartouche (commande *DEPLACER¿*).

On peut geler certains calques uniquement dans l'espace papier pour faire disparaître le contour de la fenêtre et les éléments du profil en long : dans la case de dialogue *PLAN* (commande *DDPMODES*), sélectionnez les calques Fenêtres, TN et Projet puis cliquez sur le bouton *F.Cr / GELER* (ce qui signifie : geler dans la fenêtre courante). Vous devez obtenir l'équivalent de la figure 10.19. sans le contour de la fenêtre sur l'espace objet laissé volontairement pour l'illustration.

Créez neuf copies de cet original avec la commande *RESEAU¿*, choix des objets : faites une fenêtre autour du format complet, type de réseau *Rectangulaire¿*, nombre de rangées *1¿*, nombre de colonnes *10¿*, espace entre colonnes *0.3¿*. Ajustez dans chaque fenêtre d'espace objet la vue sur chaque profil en travers (commande *panoramique*). Pour sélectionner une fenêtre, son contour doit être visible.

Il reste à calculer la surface de déblai et de remblai dans chaque profil (commande *AIRE¿* en accrochage permanent *intersection*) et à coter la position des points d'entrée en terre que l'on relève par *Identification* en espace objet local et dans un SCU local attaché à l'axe du profil en travers. Les textes sont écrits dans les plans Projet_1 et TN1.

Le résultat pour le profil n° 1 est représenté à la figure 10.20. Les renseignements nécessaires au calcul manuel figurent sur ce profil bien que les calculs des surfaces aient été réalisés directement avec le logiciel de DAO.

www.4geniecivil.com

Le tableau suivant donne les résultats pour l'ensemble des profils.

Profil	Déblai	Remblai	E. terre gauche		E. terre droite	
	m²	m²	abscisse	altitude	abscisse	altitude
1	13,03	0,00	–6,24	111,03	6,07	110,69
2	11,36	0,00	–6,24	110,52	5,96	109,97
fictif	0,66	1,80	–5,74	108,31	5,23	107,56
3	0,35	2,50	–5,67	107,97	5,37	107,11
4	0,00	15,49	–5,45	105,39	6,03	104,21
5	0,00	17,34	–5,40	104,48	6,17	102,95
6	0,00	13,09	–5,38	104,55	5,78	103,76
fictif	0,85	0,27	–5,73	106,34	5,05	105,98
7	3,23	0,00	–5,81	106,78	5,68	106,51
8	22,58	0,00	–6,56	109,82	6,55	109,78
9	11,38	0,00	-6,04	110,16	6,17	110,42
10	10,15	0,00	–5,86	110,26	6,26	111,07

La figure 10.20. Ci-dessous montre le profil en travers de départ (profil n° 1).

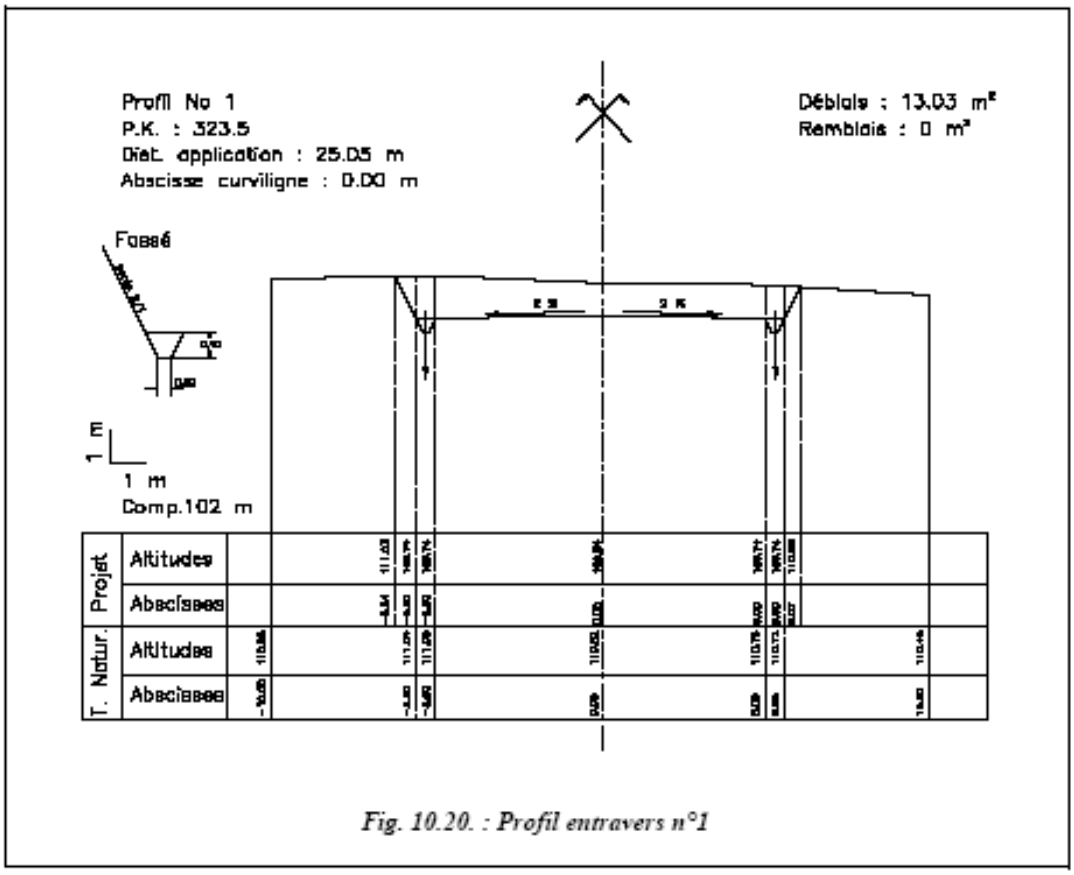


Fig. 10.20. : Profil entravers n°1

www.4geniecivil.com

III. CUBATURE DES TERRASSEMENTS

Le calcul de cubatures est un calcul d'évaluation des volumes de terres à déplacer pour l'exécution d'un projet. Il existe deux types de calcul suivant la forme générale du projet étudié :

- Le calcul des volumes « couchés » pour les projets linéaires.
- Le calcul des volumes « debouts » pour les projets étendus en surface (stade, aéroports, etc.)

1. Principe de calcul des volumes couchés

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

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

Nous n'étudierons que les volumes couchés qui se rapportent aux projets dont la largeur est faible par rapport à la longueur : routes, chemins de fer, etc. ; la cubature des volumes debout, utilisée pour les projets de grandes surfaces tels qu'aérodromes, terrains de sport, etc., s'effectue suivant d'autres procédés basés essentiellement sur la recherche de l'équilibre des terrassements.

Les volumes couchés sont calculés à l'aide :

– des superficies de remblai et de déblai fournies par les profils en travers ;

– des distances entre profils indiquées sur le profil en long.

Ces éléments sont respectivement les bases et les hauteurs de volumes allongés voisins de l'horizontale et pour cette raison appelés « volumes couchés ».

Soit à cuber un lot de terrassement limité aux profils P.1 à P.3 (fig. 10.37).

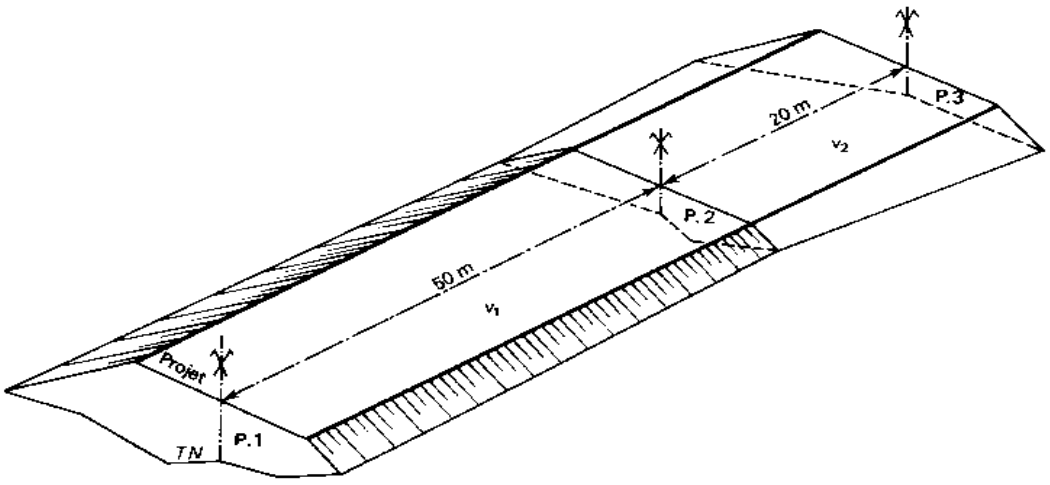


Figure 10.37 : volume de remblai

www.4geniecivil.com

Les profils P.1 et P.2 (fig. 10.38) comportent toutes les cotes nécessaires pour calculer les superficies élémentaires : a, b, c, etc. qui les composent, dont la somme fournit la superficie totale de terrassement à réaliser au profil considéré.

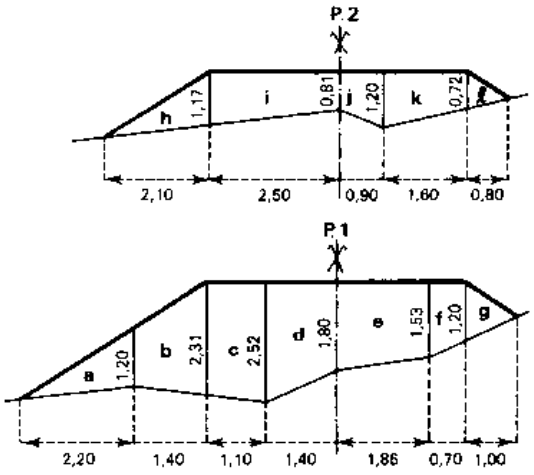


Figure 10.38 : superficies élémentaires a, b, ..., k, l

Ces deux profils constituent les bases parallèles d'un volume v_1 plus ou moins régulier, dont la hauteur est la distance entre profils, ici 50 m. Le volume v_2 aurait pour bases les profils P.2 et P.3 et pour hauteur l'entre profils 2-3 valant 20 m.

La somme des volumes partiels : $v_1 + v_2$ représente la cubature de remblai cherchée.

On étend ce principe de proche en proche à un nombre quelconque de profils, les différentes façons d'envisager les volumes élémentaires amenant des méthodes de cubature distinctes.

2. Moyenne des aires

Principe

Le volume v_1 est un polyèdre limité d'une part par les facettes du terrain naturel et du projet, d'autre part par les surfaces verticales et parallèles des profils en travers P.1 et P.2, désignées respectivement par r_1 et r_2.

On peut appliquer à cette figure la formule du prismatoïde ou formule des trois niveaux : $v = \frac{h}{6}(B + B' + 4B'')$ dans laquelle :

- h est la distance entre profils D_1 ;
- B est la superficie totale de remblai r_1 du profil P.1 ;
- B' est la superficie totale de remblai r_2 de P.2 ;
- B'' est la superficie totale de remblai d'un profil intermédiaire situé à mi-distance de P.1 et P.2.

Le TN étant en réalité une surface gauche, on admet : $B'' = \frac{B + B'}{2}$.

www.4geniecivil.com

La formule précédente s'écrit alors :

$$v = \frac{h}{2}(B + B' + 4B'') = \frac{h}{6}[(B + B') + 2(B + B')] = \frac{h}{6}3(B + B') = h\left(\frac{B + B'}{2}\right)$$

Soit, avec les notations utilisées : $v_1 = D_1 \dfrac{(r_1 + r_2)}{2}$.

Le volume compris entre deux profils consécutifs est donc égal au produit de la moyenne des aires par la largeur de l'entre-profils.

Exemple.—

D1 = 50,00 m, r_1 = 14,12 m², r_2 = 6,43 m²

$v_1 = 50{,}00\left(\dfrac{14{,}12 + 6{,}43}{2}\right) = 513{,}750\ m^3$

Généralisation

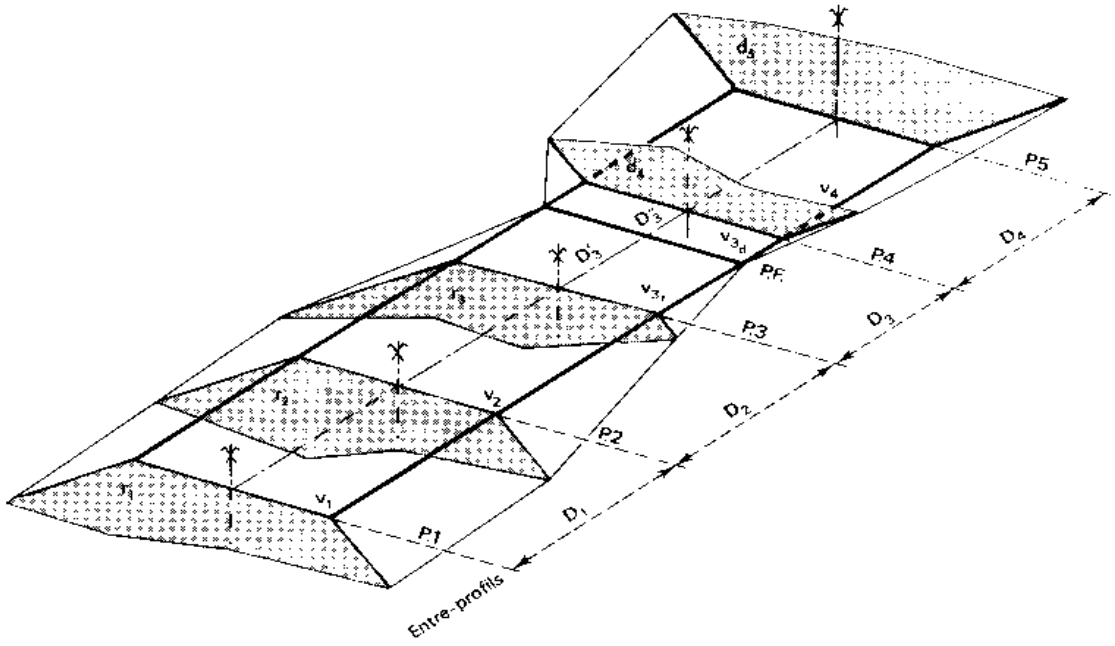


Figure 10.39 : profils remblai et déblai

Pour une suite de profils P.1, P.2, P.3, P.4, P.5 (fig. 10.39), le volume des terrassements vaut :

– entre P.1 et P.2, remblai : $v_1 = D_1 \dfrac{(r_1 + r_2)}{2}$;

– entre P.2 et P.3, remblai : $v_2 = D_2 \dfrac{(r_2 + r_3)}{2}$;

– entre le profil de remblai P.3 et le profil de déblai P.4 il existe une *ligne de passage*, c'est-à-dire une ligne de croisement du sol et du projet, que l'on considère, pour simplifier, comme perpen-

www.4geniecivil.com

diculaire à l'axe ; après avoir calculé la distance horizontale partielle D'_3 entre le profil P.3 et cette ligne de passage (§ 10.1.6.3), appliquer la méthode de la moyenne des aires en considérant qu'à cette ligne de passage se trouve un profil fictif P.F. de superficie nulle.

Soit :

– entre P.3 et P.F., remblai : $v_3 = D'_3 \dfrac{(r_3 + 0)}{2} = D'_3 \dfrac{r_3}{2}$;

entre la ligne de passage et P.4, après avoir calculé la distance horizontale partielle D''_3, on a, en désignant par d_4 la superficie de déblai de P.4 :

déblai : $v_{3d} = D''_3 \dfrac{(0 + d_4)}{2} = D''_3 \dfrac{d_4}{2}$;

– entre P.4 et P.5, déblai : $v_4 = D_4 \dfrac{(d_4 + d_5)}{2}$.

Le volume total de remblai vaut : $v_r = v_1 + v_2 + v_{3r}$ et celui de déblai : $v_d = v_{3d} + v_4$.

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

En cas de profil mixte :

projeter le ou les points de passage sur les deux profils encadrants ;

– calculer les superficies partielles qui en résultent sur les trois profils, puis cuber par volumes partiels.

3. Distances des profils encadrants à la ligne de passage

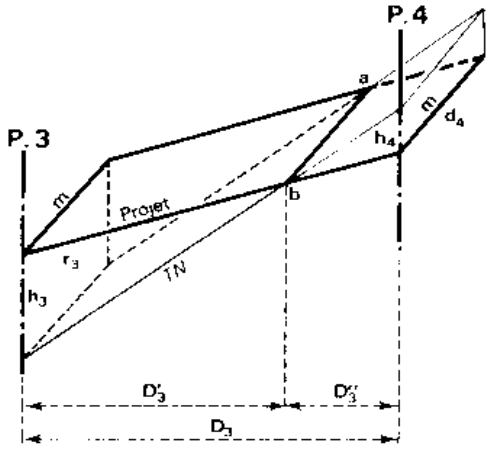


Figure 10.40 : distances à la ligne de passage

Supposons un profil de remblai P.3 limité à un rectangle : $r_3 = h_3 \cdot m$ (fig. 10.40) et un profil de déblai P.4 également réduit à un rectangle de même largeur m que le précédent : $d_4 = h_4 \cdot m$; distants de la valeur de l'entre profils D_3, ils encadrent la ligne de passage ab située à la distance D'_3 de P.3 et D''_3 de P.4.

www.4geniecivil.com

Dans le plan vertical perpendiculaire aux profils, c'est-à-dire le plan du profil en long, les triangles semblables donnent :

$$\frac{D_3'}{h_3} = \frac{D_3''}{h_4} = \frac{D_3' + D_3''}{h_3 + h_4} = \frac{D_3}{h_3 + h_4} \Rightarrow D_3' = D_3 \frac{h_3}{h_3 + h_4} = D_3 \frac{m \cdot h_3}{m \cdot h_3 + m \cdot h_4}$$

Soit : $$D_3' = D_3 \frac{r_3}{r_3 + d_4}$$

De la même manière : $$D_3'' = D_3 \frac{d_4}{d_4 + r_3}$$

En pratique, compte tenu des approximations admises dans les calculs de cubature, on assimile les superficies de remblai et de déblai de chaque profil à des rectangles de même largeur, d'où la règle : *la distance entre un profil et la ligne de passage est égale au produit de sa superficie par l'entre-profils, le tout divisé par la somme des superficies en opposition de part et d'autre de la ligne.*

Exemple.—

$r_3 = 9.65\ m^2$, $d_4 = 5.29\ m^2$, $D_3 = 40.00$ m

$$D_3' = D_3 \frac{r_3}{r_3 + d_4} = 40.00 \times \frac{9.65}{9.65 + 5.29} = 25.84 \text{ m}$$

$$D_3'' = D_3 \frac{d_4}{d_4 + r_3} = 14.16 \text{ m}$$

Contrôle : $D_3' + D_3'' = 40.00$ m $= D_3$

4. Moyenne des entre-profils

Principe

La méthode de la moyenne des aires appliquée à la suite de profils de la figure 10.39 fournit les volumes totaux :

$$v_r = v_1 + v_2 + v_{3r} = D_1\left(\frac{r_1 + r_2}{2}\right) + D_2\left(\frac{r_2 + r_3}{2}\right) + D_3'\frac{r_3}{2}$$

$$v_d = v_{3d} + v_4 = D_3''\frac{d_4}{2} + D_4\left(\frac{d_4 + d_5}{2}\right)$$

Après développement et mise en facteur des superficies communes, on obtient :

$$v_r = r_1\frac{D_1}{2} + r_2\left(\frac{D_1 + D_2}{2}\right) + r_3\left(\frac{D_2 + D_3'}{2}\right)$$

$$v_d = d_4\left(\frac{D_3'' + D_4}{2}\right) + d_5\frac{D_4}{2}$$

www.4geniecivil.com

Chaque terme de ces sommes représente le volume d'un prisme, qui a pour section droite la superficie du profil et pour hauteur la demi-somme des deux entre-profils voisins, étant entendu qu'à chaque ligne de passage on considère qu'il existe un profil fictif de superficie nulle : la distance entre un profil et la ligne de passage, calculée comme précédemment, joue dans ce cas le rôle d'entre-profils.

D'où la règle : *le volume engendré par un profil est égal au produit de sa superficie par la moyenne des entre-profils qui l'encadrent.*

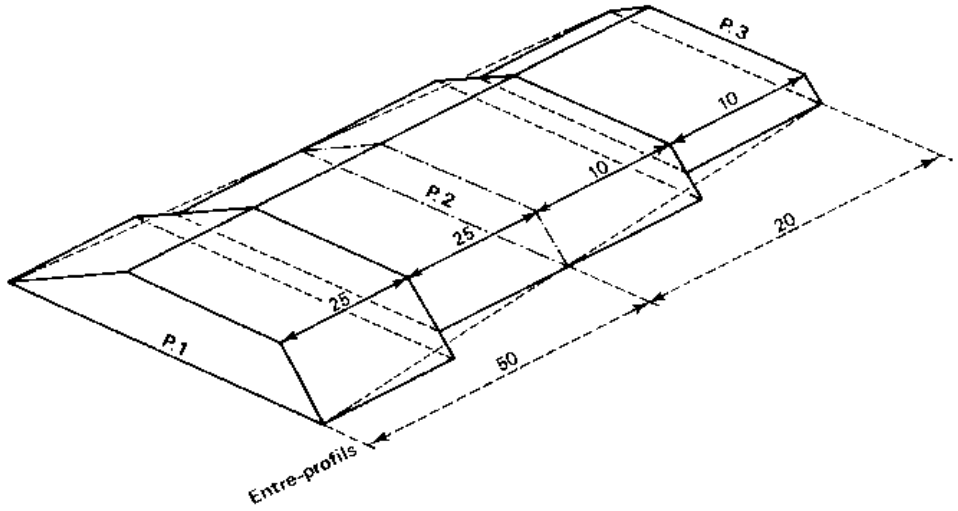


Figure 10.41 : volumes générés par la moyenne des entre-profils

Exemple.–

Volume engendré par P.2 (fig. 10.41)

$$r_2 = 6{,}43 \text{ m}^2$$

Moyenne des entre-profils ou distance d'application :

$$\frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{50 + 20}{2} = 35 \text{ m}$$

Par suite :

$$v_2 = r_2 \frac{D_1 + D_2}{2} = 6{,}43 \times 35 = 225{,}050 \text{ m}^3$$

Généralisation

Pour une suite de profils P.1, P.2, P.3, P.4, P.5, P.6, P7 (fig. 10.42), le volume des terrassements vaut :

- volume engendré par P.1, remblai : $r_1 \frac{D_1}{2}$;
- volume engendré par P.2, remblai : $r_2 \frac{D_1 + D_2}{2}$;
- volume engendré par P.3, remblai : $r_3 \frac{D_2 + D_3}{2}$;

www.4geniecivil.com

– volume engendré par P.4, déblai : $d_4 \frac{D''_3 + D_4}{2}$;

volume engendré par P.5 :

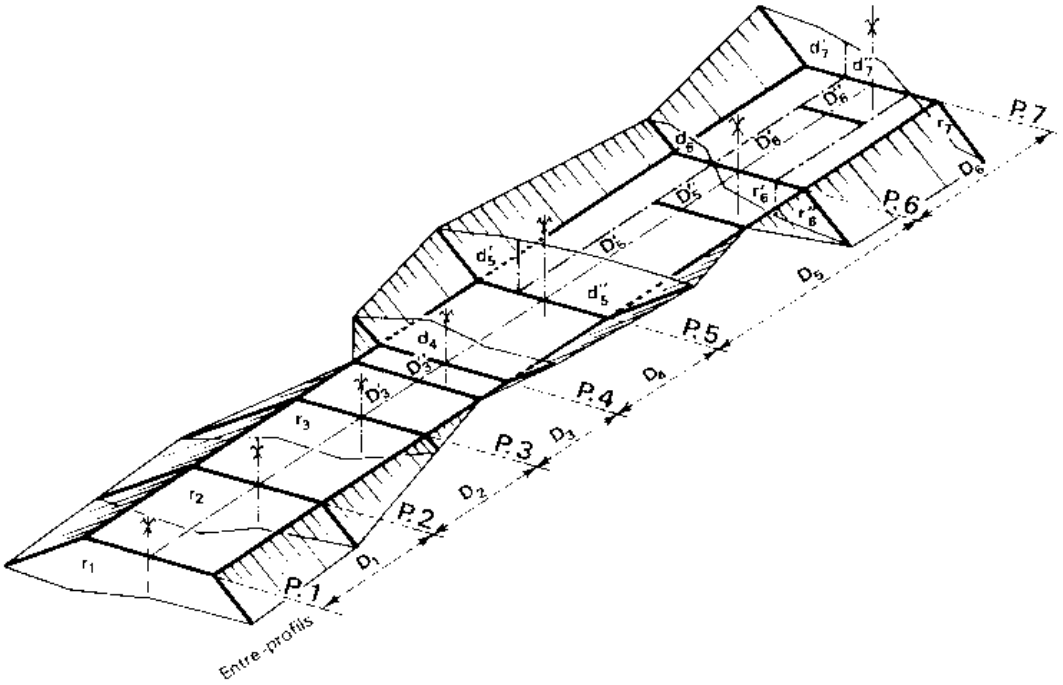


Figure 10.42 : cubature tous types de profils

Bien que le profil soit entièrement en déblai, on le décompose en deux superficies partielles d'_5 et d''_5, qui résultent de la projection sur P.5 du point de passage du profil 6 suivant, lequel est mixte. Les deux volumes partiels correspondants valent :

- déblai : $d'_5 \frac{D_4 + D_5}{2}$,
- déblai : $d''_5 \frac{D_4 + D'_5}{2}$.

La distance D'_5 à la ligne de passage est obtenue par la formule :

$$D'_5 = D_5 \frac{d''_5}{d''_5 + (r'_6 + r''_6)} ;$$

– volume engendré par P.6 :

Les trois superficies partielles de ce profil donnent trois cubes :

- déblai : $d_6 \frac{D_5 + D_6}{2}$,
- remblai : $r'_6 \frac{D''_5 + D'_6}{2}$,

www.4geniecivil.com

- remblai : $r''_6 \frac{D''_5 + D_6}{2}$;

– volume engendré par P.7 :

- déblai : $d'_7 \frac{D_6}{2}$,
- déblai : $d''_7 \frac{D''_6}{2}$,
- remblai : $r_7 \frac{D_6}{2}$.

L'étude de cette suite fait ressortir que dans cette méthode, comme d'ailleurs dans celle de la moyenne des aires, il est indispensable :

– de projeter le ou les points de passage d'un profil mixte sur les deux profils encadrants ;

– de calculer séparément les superficies partielles ainsi déterminées, afin de pouvoir trouver les distances aux lignes de passage d'une part, de cuber par volumes partiels de même nature, remblai ou déblai, d'autre part.

Les volumes totaux de remblai et de déblai sont obtenus en additionnant les différents volumes partiels correspondants.

Remarque

Les superficies partielles et leurs distances d'application s'indiquent sur les profils en travers comme le montre la figure 10.43.

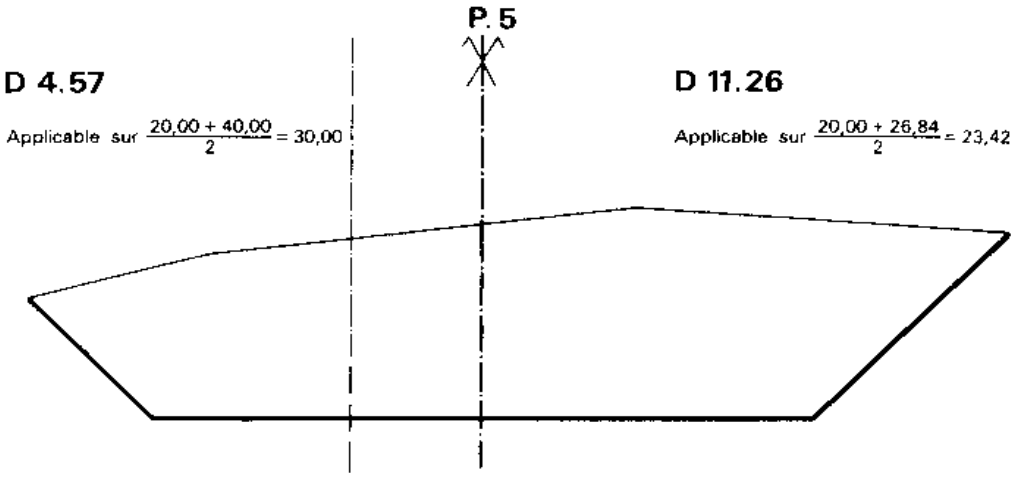


Figure 10.43 : superficies et distances d'application

Sur le plan, représenter les lignes de passage, éventuellement teinter les déblais en jaune et les remblais en rose, d'où une représentation « en escalier » visualisant les terrassements (fig. 10.44).

Aussi bien dans la méthode de la moyenne des aires que dans celle de la moyenne des entre-profils, utiliser les distances entre profils mesurées sur l'axe du projet, sans tenir compte

www.4geniecivil.com

des différences de développement d'un côté à l'autre des profils quand l'axe du tracé est courbe. Cela est justifié par l'importance des rayons utilisés en travaux publics ; l'erreur due aux différences de développement est minime et se trouve compensée en partie puisque, si on a du côté extérieur une erreur par défaut, on a, par contre, du côté intérieur une erreur par excès.

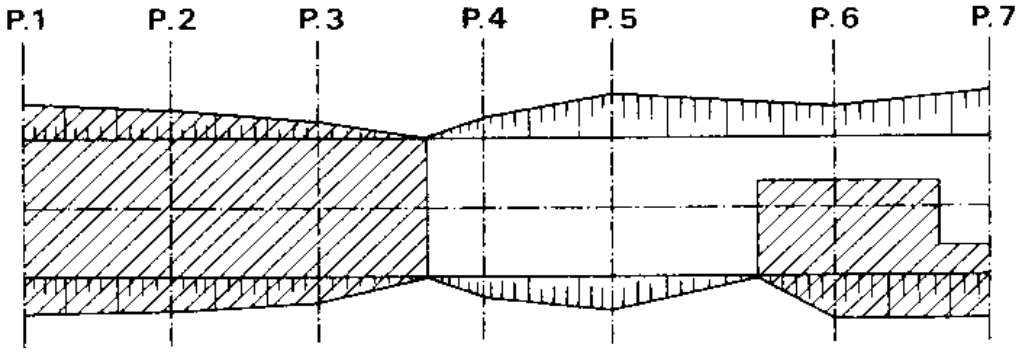


Figure 10.44 : plan des terrassements

5. Cubature simplifiée

Quand on n'a pas besoin de connaître le volume des terrassements avec une grande précision d'une part, que l'on veut étudier la façon dont doivent se faire les transports de terre pour qu'ils soient les plus économiques possible d'autre part, la méthode des entre-profils est simplifiée.

Quel que soit le type de profil : remblai, déblai ou mixte, déterminer la superficie de remblai et de déblai à gauche et à droite de l'axe sans repérer particulièrement les éventuels points de passage.

Calculer ensuite le volume des terrassements par la méthode de la moyenne des entre-profils en ne tenant compte que des points de passage à l'axe du tracé, c'est-à-dire des profils fictifs qui figurent sur le profil en long.

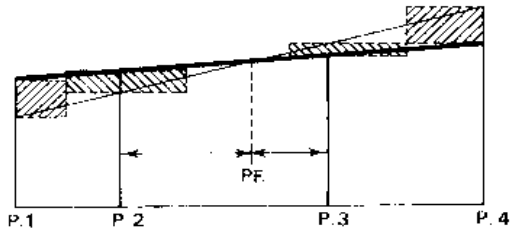


Figure 10.45 : cubature simplifiée

C'est ainsi que, pour une suite de profils P.1, P.2, P.F., P.3, P.4 (fig 10.45), le profil fictif sera utilisé avec une superficie nulle et des distances d'application égales à la moitié de celles qui le séparent des deux profils encadrants.

La méthode simplifiée est d'un usage courant ; notons que, si cette méthode est employée pour la cubature et que l'on veuille cependant représenter les terrassements sur le plan général, il faut calculer séparément les distances aux différentes lignes de passage partielles.

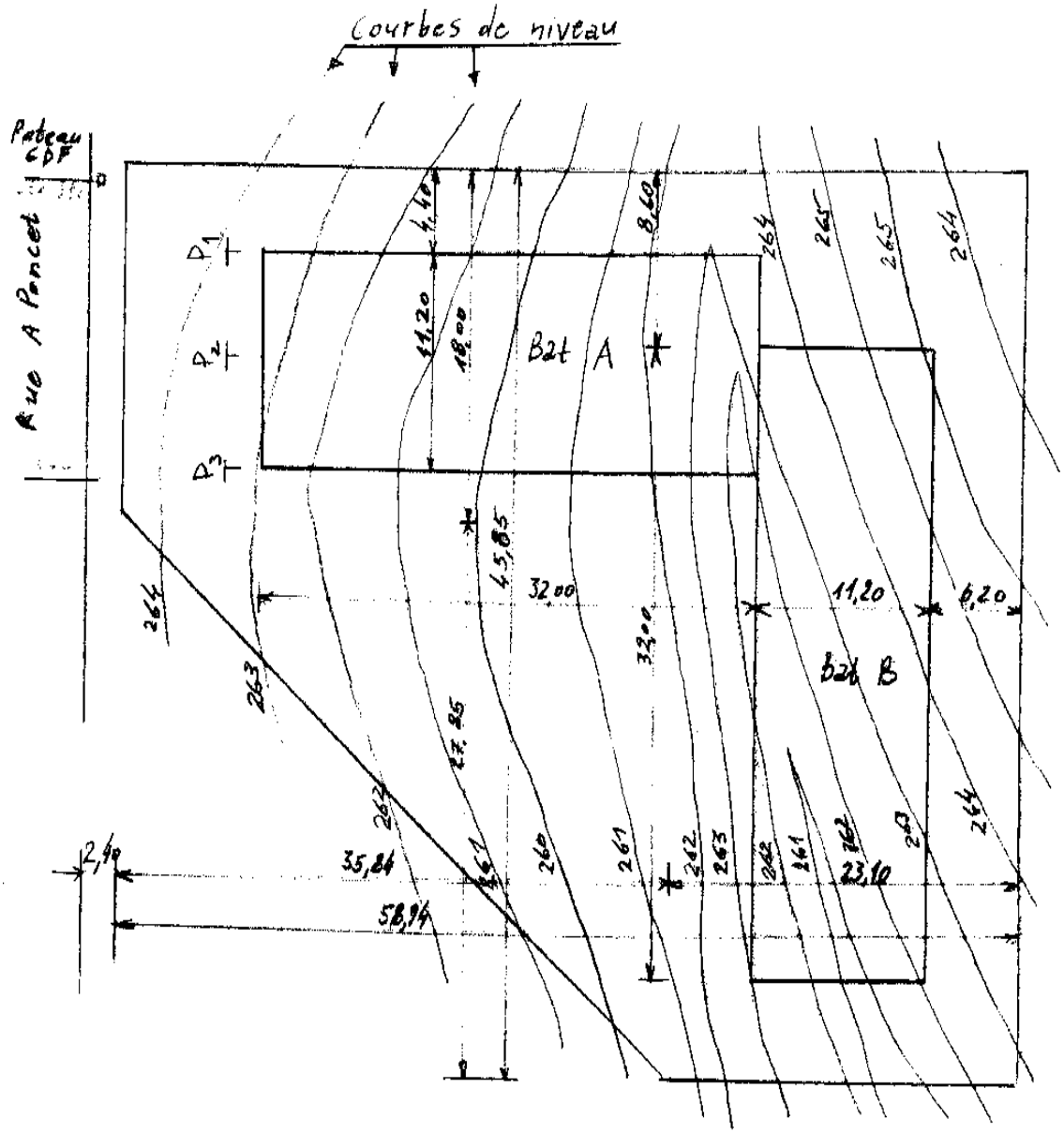
www.4geniecivil.com

6. Application du calcule des volumes « couchés »

Cubature des terrassements : METHODE DES PROFILS

Conditions de réalisation

Soit à calculer le volume de l'excavation pour la construction des bâtiments A et B selon le plan schématique ci-dessous :

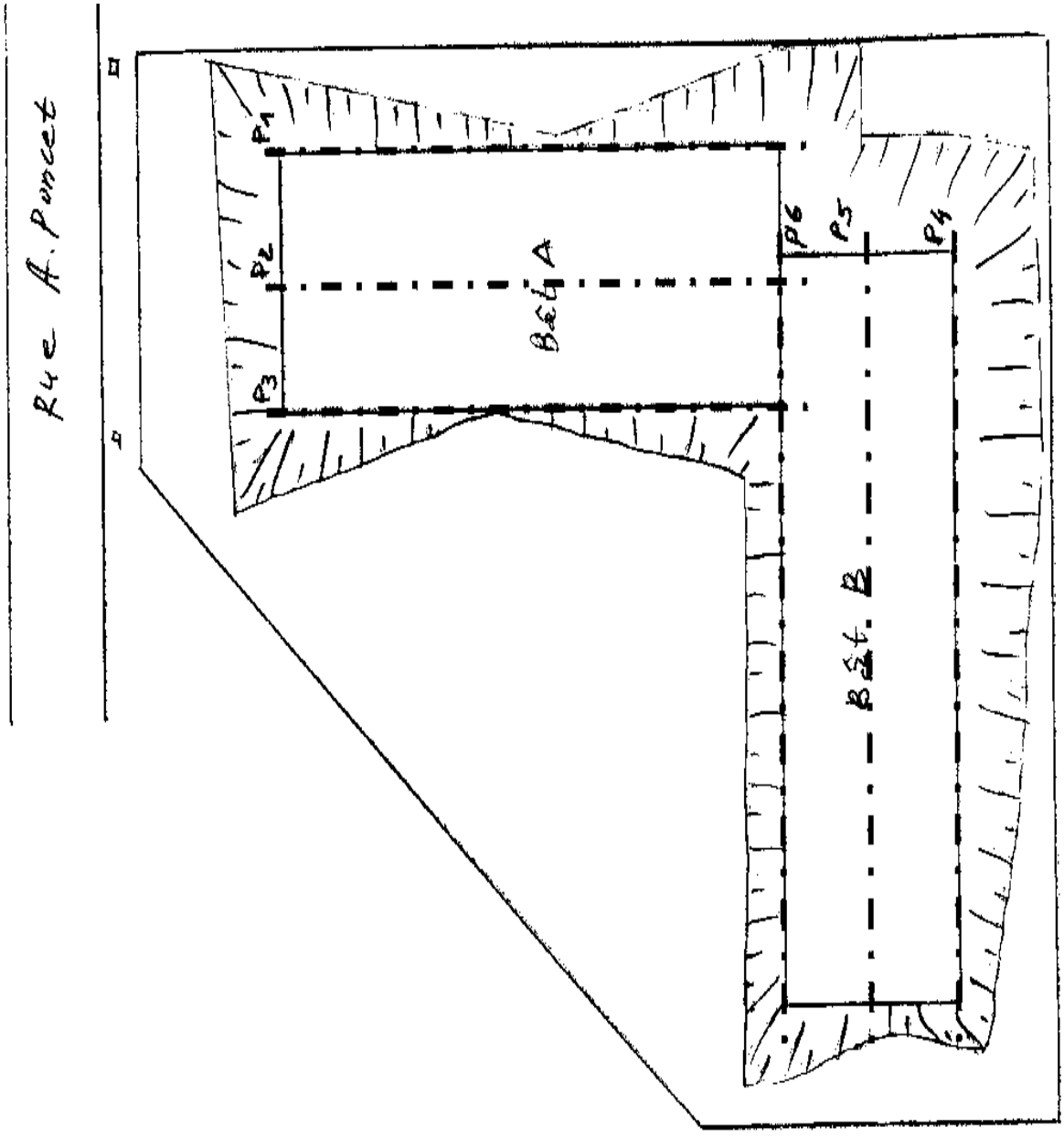


www.4geniecivil.com

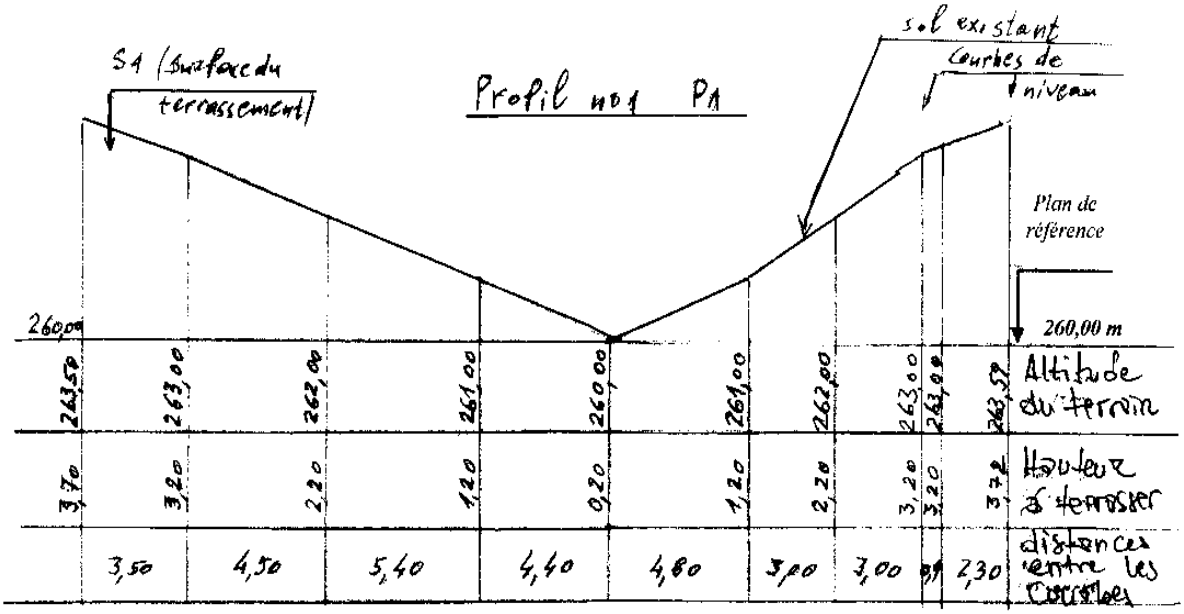
La cote du fond de l'excavation est à 259,80 m.

Pour faciliter les calculs, nous utiliserons 3 profils sur chaque bâtiment, et prendrons un plan de référence à la cote 260,00 m. Il suffira ensuite d'ajouter 20 cm aux hauteurs.

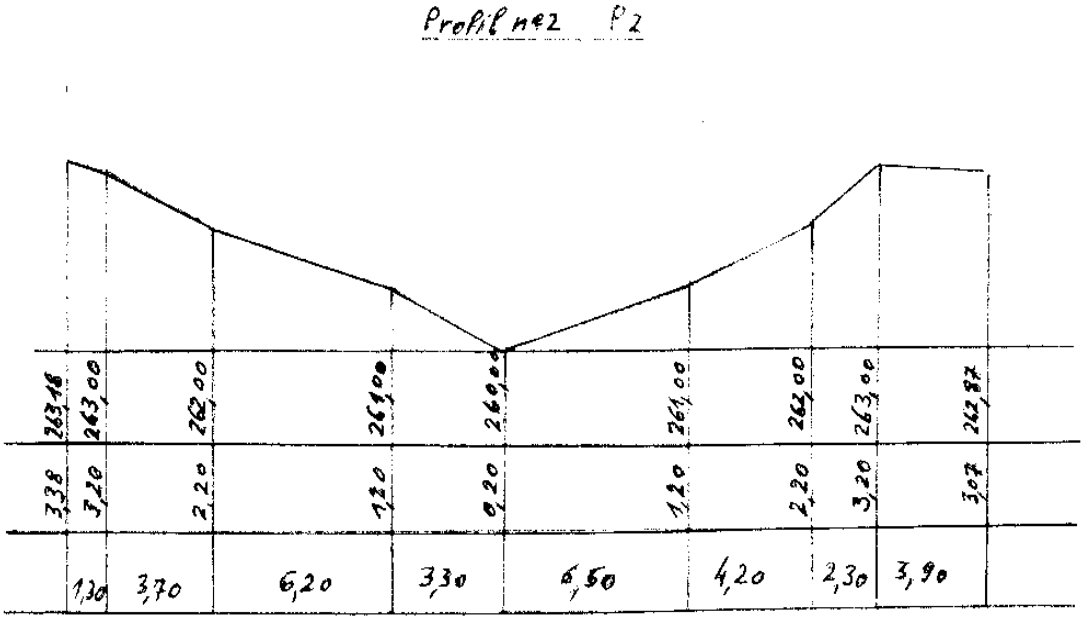
On donne les profils P_1, P_2 et P_3.



www.4geniecivil.com

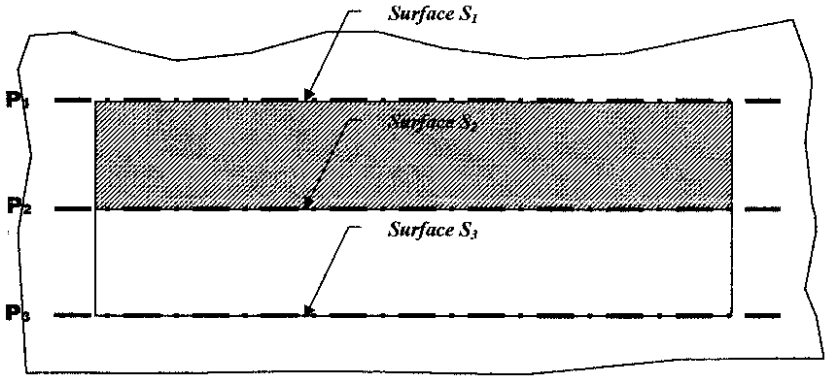


L'altitude de la fouille étant à 259,80 m, les hauteurs à terrasser sont donc majorées de 0,20 m



www.4geniecivil.com

Calcul des cubatures



Calcul de S_1 : Surface du profil P_1

$$\frac{3,70+3,20}{2}\times 3,50+\frac{3,20+2,20}{2}\times 4,90+\frac{2,20+1,20}{2}\times 5,40+\frac{1,20+0,20}{2}\times 4,40+\frac{0,20+1,20}{2}\times 4,80+$$
$$\frac{1,20+2,20}{2}\times 3,00+\frac{2,20+3,20}{2}\times 3,00+3,20\times 0,70+\frac{3,20+3,79}{2}\times 2,30 = \mathbf{64,40}\ m^2$$

Même calcul pour les autres profils

Volume à excaver :

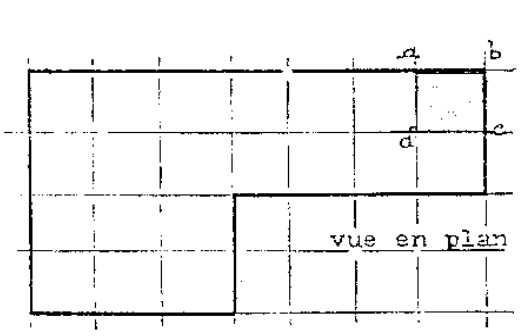
Bât A : $V_A = \frac{S1+S2}{2}\times 5,60+\frac{S2+S3}{2}\times 5,60$

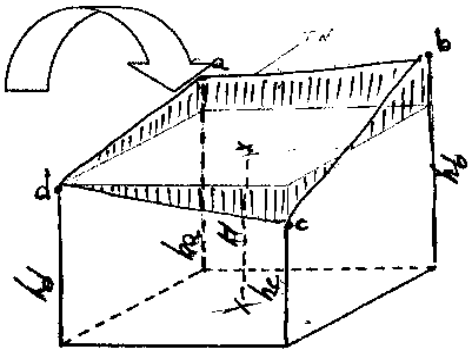
Bât B : $V_B = \frac{S4+S5}{2}\times 5,60+\frac{S5+S6}{2}\times 5,60$

Ajouter 245 m^3 pour les talus.

7. Calcul des volumes debouts. Méthode des plans cotés

La méthode dite « des plans cotés » consiste à matérialiser au préalable sur le terrain un quadrillage à l'aide de piquets, dont les dimensions des mailles carrées ou rectangulaires varient de 5m à 20 m ou 25 m selon les ondulations du terrain naturel. On procède ensuite au nivellement des sommets du quadrillage et on admet que la surface du sol est plane à l'intérieur de chaque maille ainsi obtenue.





www.4geniecivil.com

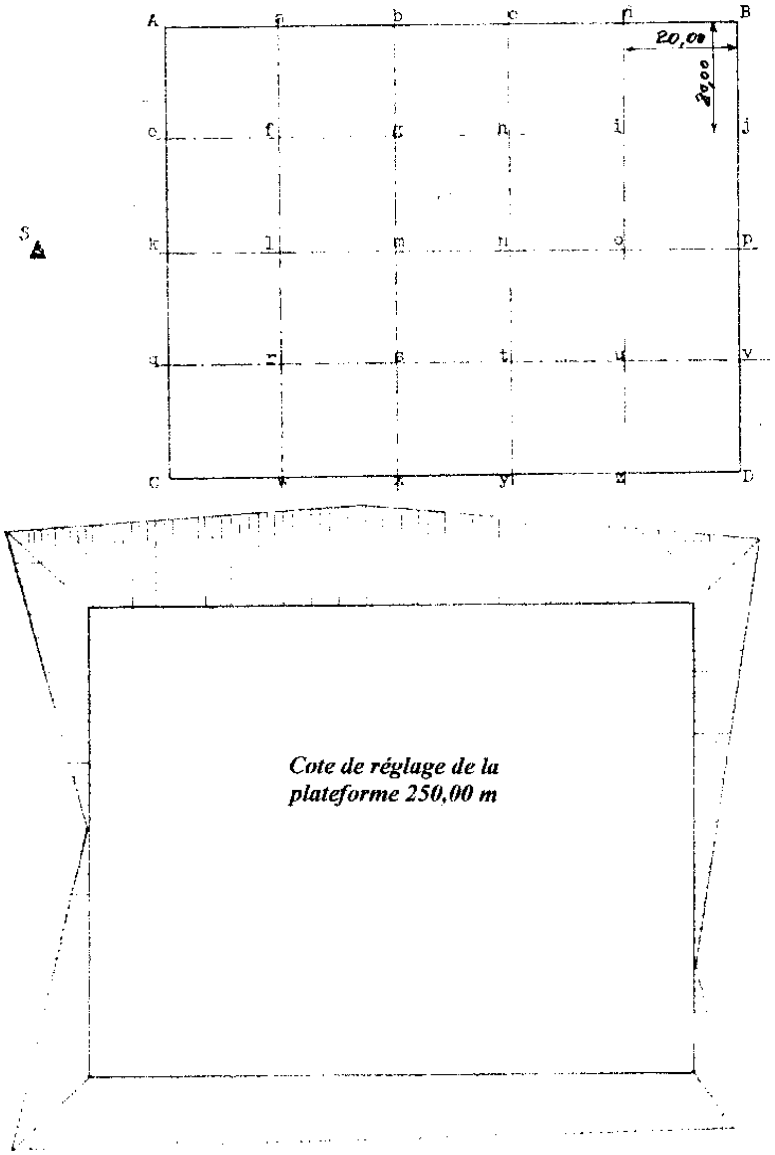
Chacune des mailles formées par ce quadrillage représente la vue en plan d'un prisme dont la hauteur est égale à la moyenne des différences de niveau entre le terrain naturel et le projet.

$$H = \frac{ha+hb+hc+hd}{4}$$

Le volume de chaque prisme est V = surface de la maille × H et par la suite, le cube total des déblais (ou de remblais) sera égal à la somme des volumes de chaque prisme.
Si l'on ne désire qu'une approximation du cube de déblais, on peut employer la méthode approchée suivante :

$$V = S \times \frac{\sum \text{altitudes des piquets}}{\text{Nombre des piquets}} - \text{cote du fond de fouille.}$$

Pour la construction d'un bâtiment industriel, on doit réaliser une plateforme de terrassement de 80 m x 100 m, selon la vue en plan suivante :



www.4geniecivil.com

Un levé de terrain préalable a été effectué suivant un quadrillage à mailles carrées de 20 m de côté, adapté au relief du terrain naturel et à la précision souhaitée.
L'altitude du point A est de 250,300 m NGM.

Points	Lectures	Altitude du plan de visée	Altitude des points nivelés	Profondeur à terrasser
A	1.480	**251.780**	250,300	
B	1.605	"		
C	1.575	"		
D	1.600	"		
a	1.450	"		
b	1.382	"		
c	1.475	"		
d	1.523	"		
e	1.605	"		
f	1.558	"		
g	1.485	"		
h	1.520	"		
i	1.552	"		
j	1.590	"		
k	1.750	"		
l	1.705	"		
m	1.620	"		
n	1.605	"		
o	1.655	"		
p	1.622	"		
q	1.625	"		
r	1.583	"		
s	1.500	"		
t	1.525	"		
u	1.586	"		
v	1.655	"		
w	1.502	"		
x	1.390	"		
y	1.455	"		
z	1.520	"		

www.4geniecivil.com

Techniques de terrassement, études et traitement des sols

GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

www.4geniecivil.com

1. Calcul des volumes debout

Plate-forme sans calcul de talus

Le terrain naturel est découpé par un maillage : la maille de base est généralement un carré dont la longueur du côté est fonction de la déclivité du terrain et de la précision cherchée. L'altitude de chaque sommet du maillage est déterminée sur plan par interpolation à partir des courbes de niveau ou sur le terrain par nivellement.

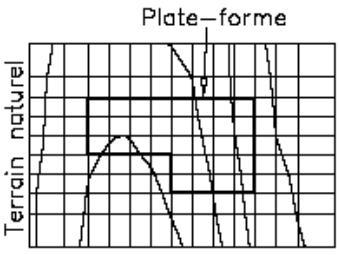


Fig. 10.25. : Implantation de plate-forme

Dans le cas ou l'on peut négliger le volume de terrassement dû aux talus (grande surface et faible hauteur de terrassement), le volume total (fig. 10.25.) délimité par la plateforme, le terrain naturel et les plans verticaux issus du contour du terrain est découpé en volumes élémentaires qui sont des prismes de section rectangulaire (fig. 10.26.).

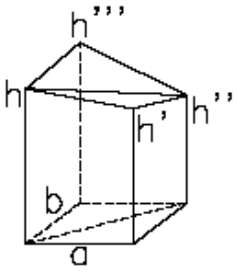


Fig. 10.26. : Deux prismes accolés

Le calcul du volume de l'ensemble des deux prismes s'effectue ainsi :

- si l'on admet que les faces inférieures et supérieures des deux prismes sont planes, le volume de l'ensemble des deux prismes peut s'exprimer de deux manières différentes :

$$V_1 = \frac{ab}{2}\left[\frac{(h+h'+h''+h''')}{3} + \frac{(h+h'+h'')}{3}\right]$$

$$= \frac{ab}{6}(2h+2h''+h'+h''')$$

$$V_2 = \frac{ab}{2}\left[\frac{(h'''+h''+h')}{3} + \frac{(h'''+h+h')}{3}\right] = \frac{ab}{6}(2h'+2h'''+h+h'')$$

$$\text{donc, pour une maille : } = \frac{V_1+V_2}{2} = \frac{ab}{4}(h+h'+h''+h''') \ ;$$

- le volume de l'ensemble des prismes (pris deux à deux) peut donc s'exprimer ainsi :

$$V_T = \frac{S}{4}\left(1\cdot\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4\right)$$

www.4geniecivil.com

On note *h* la différence d'altitude (ou hauteur) entre la plate-forme et le terrain naturel. L'indice 1 de *h1* indique une hauteur appartenant à un seul carré du maillage, l'indice 2 de *h2* une hauteur appartenant à deux carrés, etc.

Par exemple, sur la figure 10.25., il y a cinq hauteurs *h* qui appartiennent à un seul carré, vingt hauteurs appartenant à deux carrés, une hauteur appartenant à trois carrés et vingt hauteurs appartenant à quatre carrés du maillage (trente-quatre, carrés soit quarante-six hauteurs au total). *S* est la surface totale de la maille de base.

Cette méthode de calcul présente l'avantage de la simplicité et de la rapidité par comparaison avec la méthode des volumes couchés. Le nouveau calcul des volumes de déblai et remblai après modification de la hauteur de la plate-forme est plus rapide qu'avec la méthode profils en long et en travers ; cela permet d'équilibrer en quelques calculs les volumes de terre à déblayer et à remblayer en faisant évoluer l'altitude de la plate-forme.
Le calcul informatique est d'autant plus indiqué dans ce cas qu'il conduit encore plus rapidement au résultat, à condition d'avoir une discrétisation du terrain naturel sous forme de semis de points ou de maillage régulier.

Il faut noter que la formule précédente est aussi valable pour une surface de base en forme de parallélogramme.

Plate-forme avec calcul des talus

En fait, dans le cas général, il faut tenir compte des pentes de talus de remblai et de déblai qui engendrent des volumes non négligeables, surtout si le terrain est très accidenté ou en forte pente. Il faut donc déterminer les volumes des terres provenant des talus (comme pour un projet linéaire) et calculer les points d'entrée en terre. Les logiciels de calcul topographiques et certains logiciels adaptés aux projets de travaux publics permettent d'automatiser ces calculs (voir sur la figure 10.30. le résultat du calcul de l'exemple ci après obtenu avec le logiciel ADTOPO). Le logiciel **Micro-Piste**, du SETRA, ou le logiciel **MOSS** permettent d'effectuer des calculs similaires.

Pour comprendre le principe du calcul, nous allons voir avec un exemple comment on peut construire graphiquement les points d'entrée en terre des talus sur une épure (fig. 10.27.). Le principe est comparable à celui du paragraphe 2.3, à ceci près que l'opérateur construit les profils en travers dans les deux directions du maillage : en effet, il n'y a pas de direction privilégiée comme dans un projet linéaire.

Explication à partir d'un exemple

Les données du projet sont les coordonnées locales et altitudes des sommets du maillage du terrain naturel. Elles sont données dans le tableau suivant.

www.4geniecivil.com

N°	x (m)	y (m)	z (m)	N°	x (m)	y (m)	z (m)	N°	x (m)	y (m)	z (m)
60	96,44	152,41	152,30	72	120,16	121,77	141,00	84	150,66	77,99	121,10
61	120,16	152,41	142,40	73	96,44	121,77	149,70	85	137,11	77,99	128,90
62	137,11	152,41	134,00	74	204,88	99,88	111,40	86	120,16	77,99	138,00
63	150,66	152,41	127,30	75	181,16	99,88	114,60	87	96,44	77,99	146,80
64	164,22	152,41	122,90	76	164,22	99,88	118,00	88	204,88	47,35	104,60
65	181,16	152,41	119,70	77	150,66	99,88	123,00	89	181,16	47,35	108,90
66	204,88	152,41	116,70	78	137,11	99,88	130,90	90	164,22	47,35	112,70
67	204,88	121,77	113,40	79	120,16	99,88	139,90	91	150,66	47,35	117,50
68	181,16	121,77	116,60	80	96,44	99,88	148,30	92	137,11	47,35	124,90
69	164,22	121,77	119,80	81	204,88	77,99	109,00	93	120,16	47,35	134,10
70	150,66	121,77	124,60	82	181,16	77,99	112,50	94	96,44	47,35	144,30
71	137,11	121,77	132,10	83	164,22	77,99	116,10				

La plate-forme à installer est de base rectangulaire et doit se situer à l'altitude 118 m. Ses dimensions sont de 50 m × 25 m et les coordonnées du point inférieur gauche sont (141,54 ; 87,66). Les pentes des talus de remblai et de déblai sont de 1/1. La figure 10.27. représente l'épure de construction des lignes d'entrée en terre : ce sont les droites d'intersection entre les plans inclinés du talus et le terrain naturel. En parallèle avec la vue en plan, on construit deux vues en élévation du terrain naturel et de la plateforme, soit une vue pour chaque direction du maillage. Pour exagérer le relief du terrain naturel, les échelles peuvent être différentes en abscisse et en ordonnée sur chaque graphique en élévation.

Attention : si les échelles en abscisse et en ordonnée sont différentes, veillez à multiplier les pentes de talus par le même facteur d'échelle (rapport de l'échelle en *z* par l'échelle en *x*) de manière à conserver la pente réelle des talus par rapport au terrain naturel.

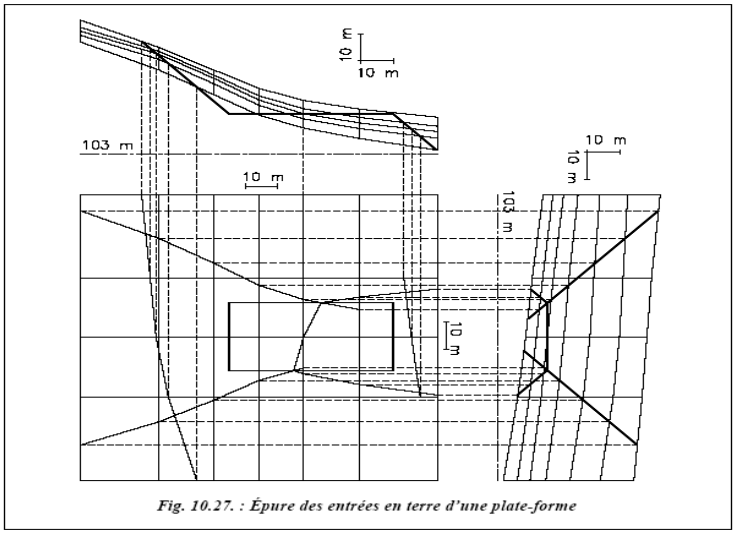


Fig. 10.27. : Épure des entrées en terre d'une plate-forme

On reporte ensuite sur la vue en plan les points d'intersection du terrain naturel avec les talus de la plate-forme : cela donne les points d'entrée en terre et la ligne de séparation entre remblai et déblai.

www.4geniecivil.com

Ces constructions peuvent être effectuées sur DAO : on y travaille directement en trois dimensions.

Sur la figure 10.27., toutes les lignes d'entrée en terre sont construites. En fait, certaines sont inutiles puisqu'elles vont trop loin dans le terrain naturel dans les angles de la plate-forme (voir figure 10.28. les lignes d'entrée en terre définitives tracées en considérant que les angles sont définis par des plans inclinés selon la même pente que les autres faces des talus). En pratique, les angles ne sont pas réellement taillés : ils sont une jonction entre les talus des côtés de la plate-forme. Pour le calcul théorique, si l'on veut conserver la pente des talus dans ces zones, on peut construire ces angles comme sur la figure 10.28. On obtient alors dans les angles des volumes de terre qui sont des pyramides dont deux faces sont verticales, une face inclinée suivant la pente de talutage, ici 1/1, et une face supérieure appartenant au terrain naturel, par exemple le volume dont la projection horizontale donne les points 1, 5 et 6.

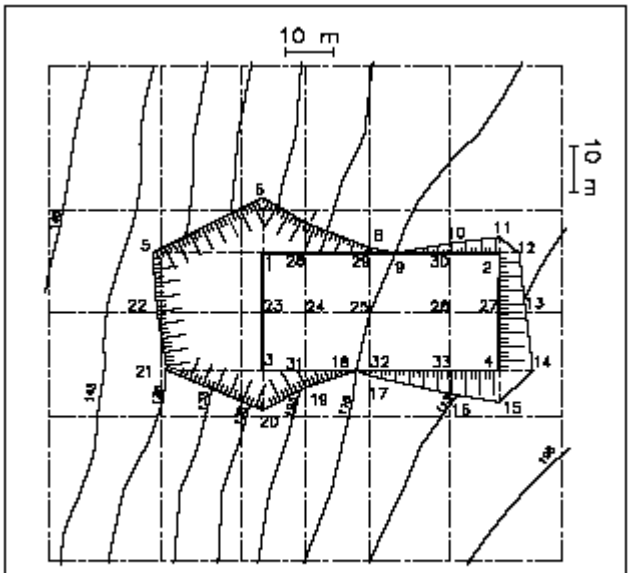


Fig. 10.28. : Entrées en terre et talus

On peut alors relever sur le graphique la position des points d'entrée en terre en planimétrie pour une implantation ultérieure. Leur altitude est calculée par interpolation soit à partir des courbes de niveau, soit directement à partir des sommets du maillage.

Résultats

Le tableau suivant donne les coordonnées des points d'entrée en terre de la plateforme.

N°	x (m)	y (m)	z (m)	N°	x (m)	y (m)	z (m)	N°	x (m)	y (m)	z (m)
1	141,54	112,66	128,70	12	195,78	112,66	114,60	23	141,54	99,88	128,40
2	191,54	112,66	114,40	13	197,09	99,88	112,50	24	150,66	99,88	123,00
3	141,54	87,66	127,20	14	198,60	87,66	111,20	25	164,22	99,88	118,00
4	191,54	87,66	112,30	15	191,54	80,91	111,40	26	181,16	99,88	114,60
5	118,33	112,66	141,21	16	181,16	82,60	112,90	27	191,54	99,88	113,20
6	141,54	124,47	129,80	17	164,22	86,50	116,80	28	150,66	112,66	124,90
7	150,66	119,06	124,70	18	161,11	87,66	118,00	29	164,22	112,66	119,00
8	164,22	113,81	120,00	19	150,66	84,03	121,60	30	181,16	112,66	115,80
9	169,58	312,66	118,00	20	141,54	79,23	126,40	31	150,66	87,66	121,90
10	181,16	114,71	116,00	21	121,57	87,66	138,00	32	164,22	87,66	118,00
11	191,54	115,99	114,70	22	119,35	99,88	139,10	33	181,16	87,66	113,40

www.4geniecivil.com

Calcul des cubatures de cette plate-forme

Il y a deux possibilités pour calculer ce volume.

1 - Calcul « exact », en **décomposant le volume en volumes élémentaires** à partir des coordonnées *x*, *y* et *z* de chaque point d'entrée en terre ainsi que des points du terrain naturel situés à la verticale de la plate-forme (points 1, 2, 3, 4 et 23 à 33 sur la figure 10.28.), les sommets du maillage étant déjà connus. On affecte d'un signe prime (') les points projetés sur la plate-forme, par exemple (1') à la verticale de (1).

Par exemple (fig. 10.28.), le volume qui se projette sur la plate-forme en 23, 24, 3 et 31 est constitué de deux prismes et se calcule comme indiqué au paragraphe 2.5.2.1 :

$$V_{3\text{-}23\text{-}24\text{-}31} = 12{,}22.\ 9{,}12\ .\ (9{,}2 + 10{,}4 + 5 + 3{,}9) / 4 = 794{,}1\ m^3.$$

Le volume qui se projette sur le terrain naturel en 1, 5, 22 et 23 est délimité par deux triangles verticaux dont on peut calculer la surface ainsi :

- Triangle 1'-1-5 : surface 124,2 m^2
- Triangle 23'-23-22 : surface 115,4 m^2

Le volume approché est : V1-5-22-23 = 12,78. (124.2 + 115,4) /2 = 1 531 m^3.

Le volume qui se projette sur le terrain naturel en 1, 5 et 6 est une pyramide à base triangulaire (triangle 1'-1-6 de surface 63,2 m^2) et de hauteur 23,21 m. Son volume se calcule ainsi :

$$V1\text{-}6\text{-}5 = 63{,}2\ .\ 23{,}2 / 3 = 488{,}7\ m^3.$$

Et ainsi de suite. Le volume complet peut être calculé en utilisant les trois types de calcul précédents. Vérifiez – la précision obtenue étant inutile étant donnée la modélisation approchée du terrain – que les volumes totaux sont : $V_{déblai}$ » 7 045 m^3, $V_{remblai}$ » 2 430 m^3.

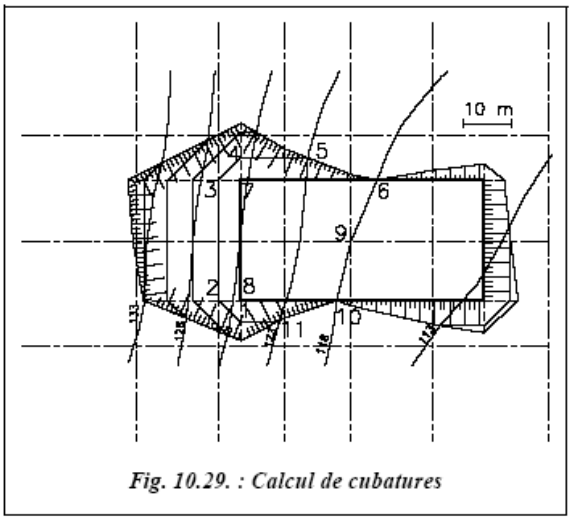


Fig. 10.29. : Calcul de cubatures

2 - Calcul **en découpant le volume cherché en tranches horizontales**. C'est le mode de calcul de certains logiciels, par exemple ADTOPO : c'est le plus simple et le plus rapide dans le cadre d'un travail manuel. Sur la même épure (fig. 10.27.), construisez les lignes d'intersection entre des plans horizontaux régulièrement espacés et les talus. Cela revient à ajouter des lignes de niveau sur le terrain naturel après excavation des terres.

www.4geniecivil.com

L'espacement entre ces tranches dépend de la précision désirée. Par exemple, sur la figure 10.29., les tranches sont espacées de 5 m, ce qui correspond aux courbes de niveau du terrain naturel dont on dispose déjà puisqu'elles ont été tracées à partir du maillage.
On calcule ensuite la surface délimitée par ces courbes de niveau ; on peut la mesurer directement sur l'épure avec un planimètre sur papier ou avec la commande *AIRE* d'AutoCAD. En appliquant la formule de la moyenne des aires on en déduit le volume total.

Par exemple, calculons le volume de déblais compris entre les deux surfaces suivantes :

- surface de niveau 118 m : 6-7-8-10-9-6 (portion de la plate-forme), S = 585 m^2
- surface de niveau 123 m : 1-2-3-4-5-11-1, S = 533 m^2

Remarquez que, sur la ligne 5-11, on suit la courbe de niveau du terrain naturel.
Le volume compris entre ces deux surfaces parallèles distantes de 5 m est :
$V = 5.(533 + 585) / 2$.

Le calcul complet demande beaucoup de temps pour arriver à ce résultat sans erreur. Le calcul informatique est donc très indiqué. Le tableau suivant résume les résultats.

Déblais				Remblais			
z (m)	S (m^2)	h (m)	V (m^3)	z (m)	S (m^2)	h (m)	V (m^3)
118	585			118	664		
		5	2 795			5	1 943
123	533			113	113		
		5	2 195			1.8	102
128	345			111,20	0		
		5	1 303				
133	176						
		5	503				
138	25						
		2.3	29				
140,30	0						
			6 825				2 045

Ci-après (fig. 10.30.) est donné le résultat du même calcul effectué en quelques minutes sur ADTOPO. Le résultat fournit par le logiciel est le suivant :

Volume de déblais…. 6 860 m^3,
Volume de remblais… 2 104 m^3.

On constate sur la vue en trois dimensions (fig. 10.30.) que la modélisation des talus dans les angles est légèrement différente de celle choisie dans la résolution manuelle.

L'erreur commise par rapport au calcul « exact » est de l'ordre de 3 % en déblai ce qui est d'autant plus acceptable que le terrain naturel choisi est très défavorable

www.4geniecivil.com

puisqu'en forte pente. En remblai, l'écart est de 13 % ce qui peut s'expliquer par le fait que la partie en remblai est insuffisamment discrétisée : il n'y a pas assez de courbes de niveau, le calcul est donc moins précis.

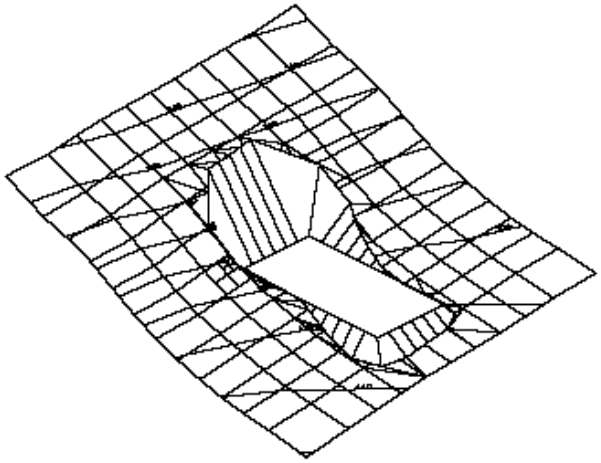


Fig. 10.30. : Implantation de la plate-forme en 3D

Attention ! les résultats fournis par ADTOPO peuvent être très différents suivant la modélisation choisie et le type de terrain naturel. Il convient donc de vérifier les résultats par plusieurs calculs faisant intervenir des modélisations différentes du terrain naturel. On peut aussi jouer sur des paramètres tels que l'élancement des facettes du terrain ou la densité du découpage pour le calcul des volumes de déblai et remblai.

2. Découpage suivant les courbes de niveau

La méthode de calcul abordée dans l'exercice précédent s'applique aussi directement aux courbes de niveau pour évaluer par exemple la capacité d'un réservoir naturel (fig. 10.31.).

On suppose toujours que le terrain est linéaire entre deux courbes de niveau. Les surfaces délimitées par ces courbes étant horizontales et donc parallèles entre elles, on peut appliquer la formule des trois niveaux (Simpson, voir tome 2, chap. 5, § 7.1) pour obtenir le volume compris entre trois courbes consécutives. Si le terrain est en pente régulière, on l'applique dans sa forme simplifiée, c'est-à-dire que le volume est égal à la moyenne des surfaces qui le délimitent multiplié par la distance entre ces surfaces (c'est le cas du tableau de calcul suivant). La courbe de niveau 365 m a été ajoutée par interpolation à partir des courbes 360 m et 370 m pour tenir compte de l'irrégularité du terrain naturel entre ces deux courbes de niveau.

Application

Calculer le volume de la retenue d'eau créée par le barrage de la figure 10.31. si l'on admet que l'eau ne doit pas dépasser la cote 400 m. Le fond de vallée est estimé à l'altitude 324 m.

www.4geniecivil.com

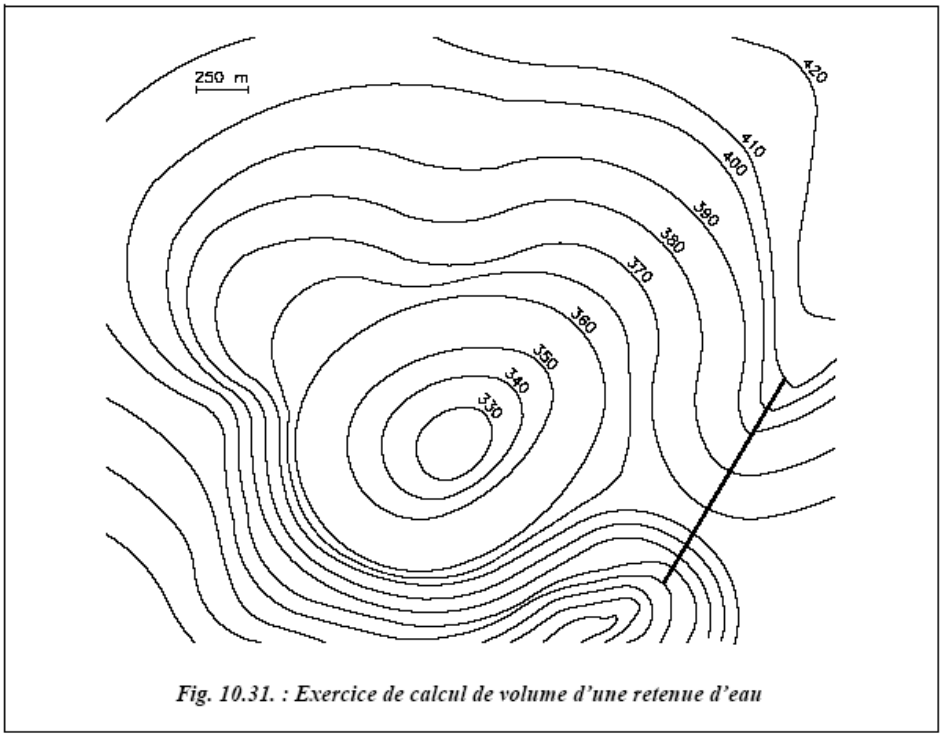


Fig. 10.31. : Exercice de calcul de volume d'une retenue d'eau

Le tableau suivant détaille les calculs de volume.

z (m)	S (m²)	h (m)	V (m³)	z (m)	S (m²)	h (m)	V (m³)
400	6 354 069			365	2 130 215		
		10	56 604 605			5	9 224 678
390	4 966 852			360	1 559 656		
		10	44 242 610			10	10 905 645
380	3 881 670			350	621 473		
		10	33 786 435			10	4 653 175
370	2 875 617			340	309 162		
		5	12 514 580			10	2 044 580
365	2 130 215			330	99 754		
						6	299 262
				Fond de bassin :	0	Total :	174 275 570

Réponse

Si l'on ne tient pas compte de l'irrégularité entre les courbes 360 m et 370 m, on obtient un volume de 174 712 677 m3, soit 0,2 % d'écart : on peut donc la négliger.
Si on calcule le volume en appliquant la formule de Simpson, on obtient :

$$V_{\text{total}} = \frac{10}{3}[S_{400} + S_{324} + 4(S_{390} + S_{370} + S_{350} + S_{330}) + 2(S_{380} + S_{360} + S_{340})] .$$

Résultat : V_{total} = 173 699 430 m^3, soit un écart de 0,3 % par rapport au calcul précédent.

Remarque

On considère dans ce dernier calcul que le fond de vallée est à l'altitude 320 m (erreur négligeable).

www.4geniecivil.com

-

TERRASSEMENT DU TERRAIN

EVALUATION DE FIN DE MODULE

www.4geniecivil.com

Filière : T.S. Géomètre Topographe (APC)

Niveau : Technicien Spécialisé

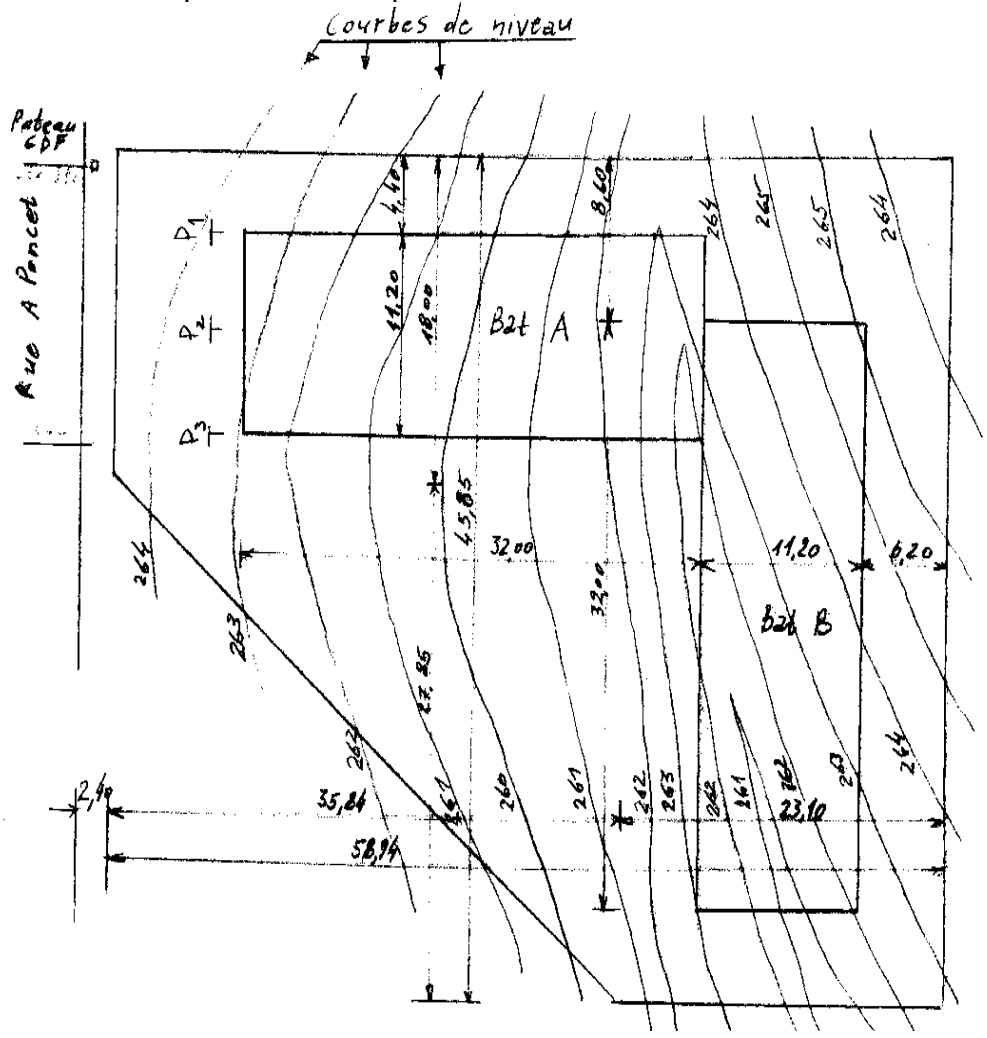
Durée : 4 h

Epreuve : Pratique

Barème : /60

Sujet :

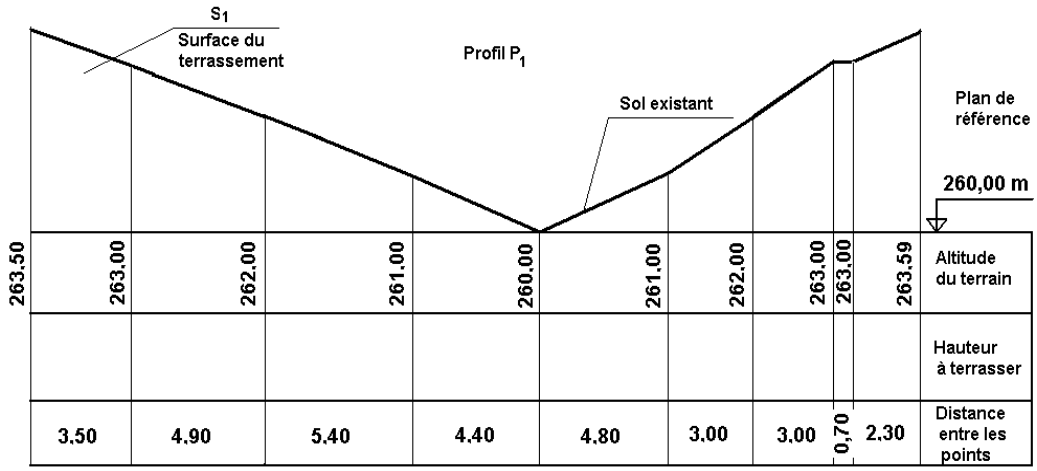
Calcul du volume de l'excavation pour la construction de bâtiment A selon le plan schématique ci-dessous :



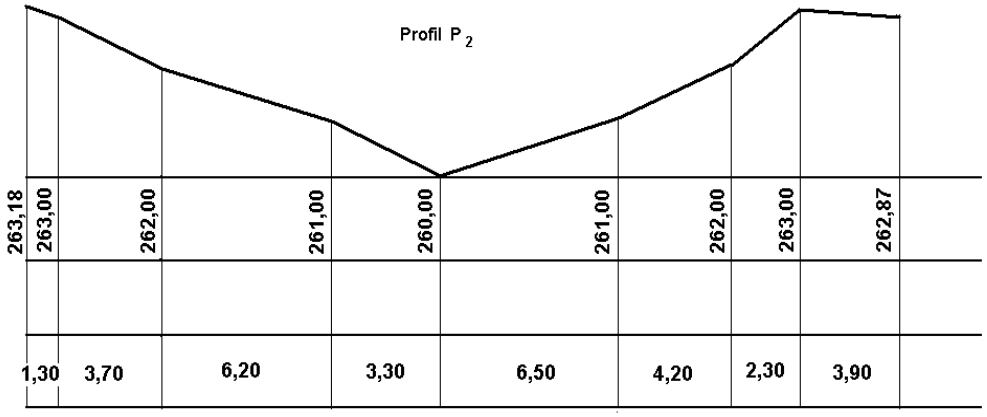
Travail demandé : A l'aide du schéma ci-dessus et les profils P_1, P_2 et P_3, on vous demande de calculer le volume de travaux de terrassement pour la construction de bâtiment A. La cote du fond de l'excavation est à 259,80 m. Pour faciliter les calculs, vous utilisez les trois profils, an prenant un plan de référence à la cote 260,00m. Il suffira ensuite d'ajouter 20 cm aux hauteurs.

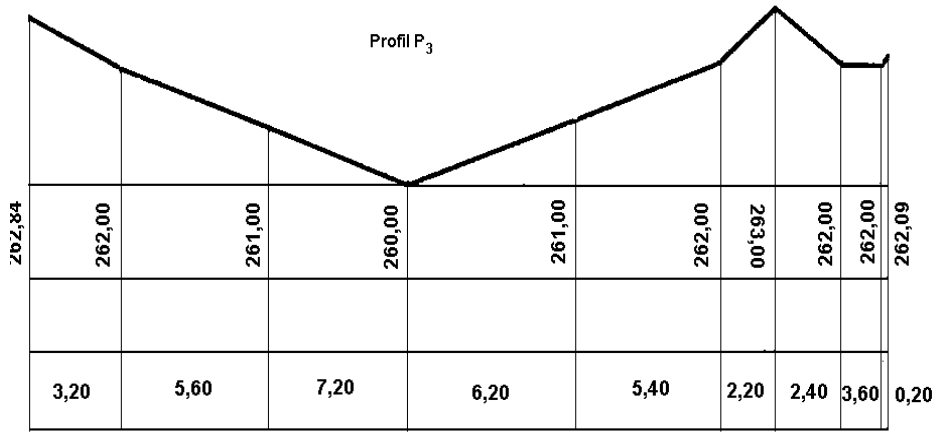
1/2

www.4geniecivil.com



L'altitude de la fouille étant à 259,80 m, les hauteurs à terrasser sont donc majorées de 0,20 m





Total: **/60**

2/2

www.4geniecivil.com

IV. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR	TITLE	EDITION
SERGE MILLES et JEAN LAGOFUN	TOPOGRAPHIE ET TOPOMETRIE MODERNES	1999
MICHEL BRABANT	MAÎTRISER LA TOPOGRAPHIE DES OBSERVATION AU PLAN	2000
RENÉ LLARD et GEORGES KIENERT	LES TRAVAUX PUBLICS	1987
RENE BAYON	V.R.D. VOIRIE RESEAUX DIVERS	2000

www.4geniecivil.com