

6.1. GENERALITES

Pour construire un ouvrage, quel qu'il soit (route, pont, tunnel, barrage, bâtiments, ...), il est nécessaire de modifier le terrain naturel. Il faut profiler la surface du terrain de telle sorte qu'il soit apte à supporter le poids de l'ouvrage et à en intégrer sa forme. L'ensemble de ces opérations constitue « le terrassement ».

Il n'existe aucun matériau qui ne peut faire l'objet d'opérations de terrassements : on terrasse les rochers, les terrains meubles cohérents ou pulvérulents, tout ce qui constitue la surface du sol.

Le terrassement est le travail consistant à déplacer des quantités importantes de matériaux (sols, roches, sous-produits, etc.). Le remaniement des terrains naturels entraîne une modification généralement définitive de la topographie et du paysage, en créant des ouvrages en terre soit en remblai soit en déblai.

Les travaux de terrassement sont basés sur trois actions principales : l'extraction, le transport, la mise en œuvre. Il peut exister des travaux de grandes ampleurs (travaux routiers, aménagements de plateformes, travaux ferroviaires ou fluviaux, etc.) ou légers (tranchées de réseaux enterrés, aménagements de maisons individuelles, drains, etc.). Le métier est basé sur le retour d'expérience et l'empirisme car ce sont essentiellement des matériaux naturels qui sont remaniés.

6.2. DEFINITIONS

6.2.1. Décapage en surface (décapage de la terre végétale)

L'épaisseur de la couche à décaper varie de 20 à 30 cm. Le décapage est souvent quantifié au mètre-carré (m^2).

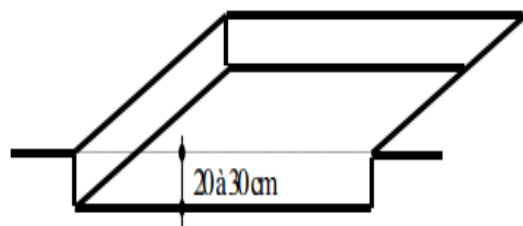


Figure 1 – Décapage de la terre végétale

6.2.2. Fouilles en rigoles pour fondations

Elles correspondent aux semelles filantes (fondations sous les murs et les voiles des ouvrages), quantifiées au mètre-cube (m^3).

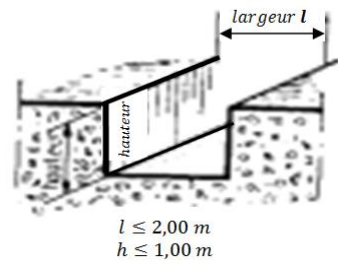


Figure 2 – Fouilles en rigoles

6.2.3. Fouilles en trous pour fondations

Elles correspondent aux semelles isolées (fondations sous les poteaux, sous les murs isolés de petites dimensions), quantifiées au mètre-cube (m^3).

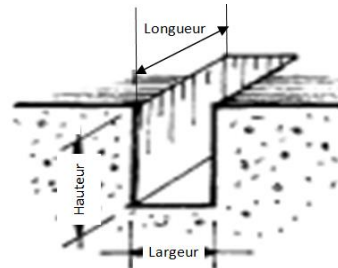


Figure 3 – Fouilles en trous

6.2.4. Fouilles en tranchées

Elles sont en général réalisées pour la pose de canalisations et quantifiées au mètre-cube (m^3).

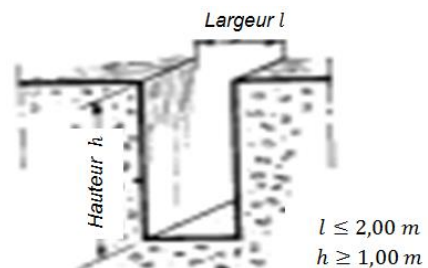


Figure 4 – Fouilles en tranchées

6.2.5. Fouilles en puits

Ces fouilles permettent la réalisation de fondations semi-profondes qui transmettent les charges de l'ouvrage sur un sol approprié. Elles sont quantifiées au mètre-cube (m^3).

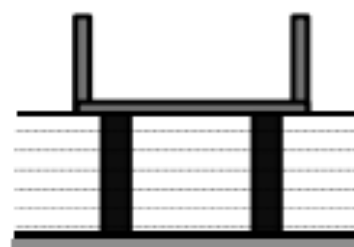


Figure 5 – Fouilles en puits

6.2.6. Fouilles en pleine masse ou en excavation

Cela englobe les travaux d'envergure aussi bien en surface qu'en profondeur (terrassements routiers par exemple). Dans le domaine des grandes excavations, surtout en milieu urbain, c'est plus récemment que l'on assiste à l'utilisation conjointe de modélisations avancées associées à des observations approfondies. En effet, lorsque les avoisinants du projet imposent des contraintes en termes de déplacements parfois très strictes, il est essentiel de concevoir les ouvrages en fonction de ces critères de déplacements, puis de vérifier par les auscultations en cours de chantier que le comportement observé est conforme aux prévisions, et dans le cas contraire de mettre en œuvre des modifications de projet pour respecter les contraintes imposées. C'est le principe même de la « méthode observationnelle » au sens de l'Eurocode.

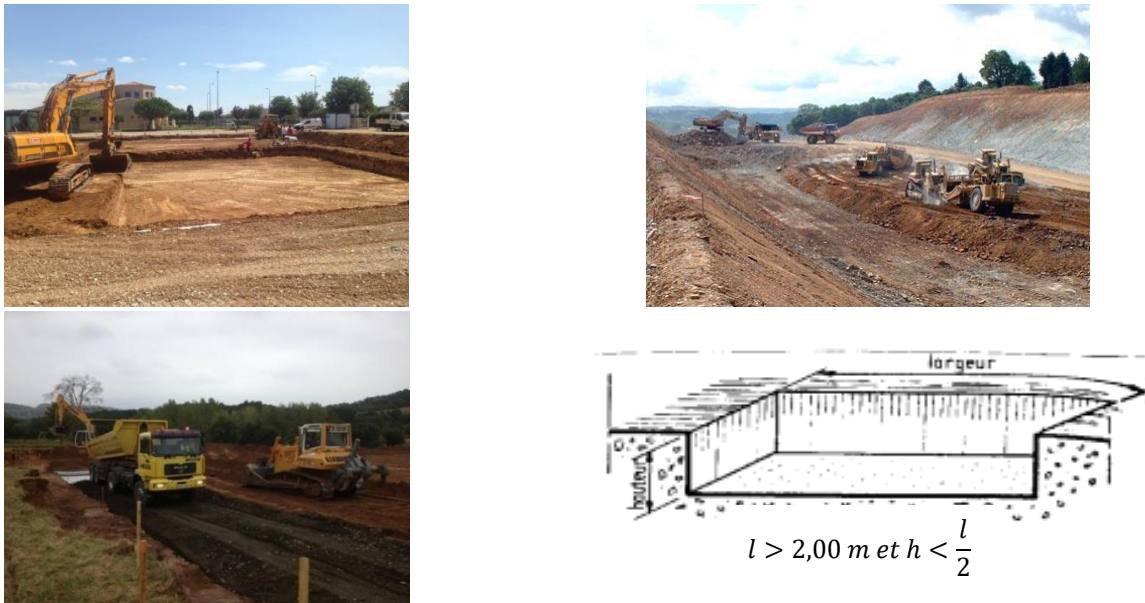


Figure 6 – Fouilles en pleine masse

6.2.7. Blindage des fouilles

La hauteur, parfois importante de ces terrassements, impose la mise en place d'un blindage. En règle générale, le blindage est requis à partir d'une profondeur de 1,30 m, pour les tranchées de largeur inférieure à 1,00 m.



Figure 7 – Blindage des fouilles

6.2.8. Terrassement en présence d'eau

La présence d'eau dans le sol modifie de manière non négligeable ses caractéristiques et les modes de terrassement, car cela nécessite :

- ✓ De collecter les venues d'eau par pompage ou drainage



Figure 8 – Collecte des eaux par pompage

- ✓ De procéder au rabattement de nappe phréatique en cas de présence permanente d'eau

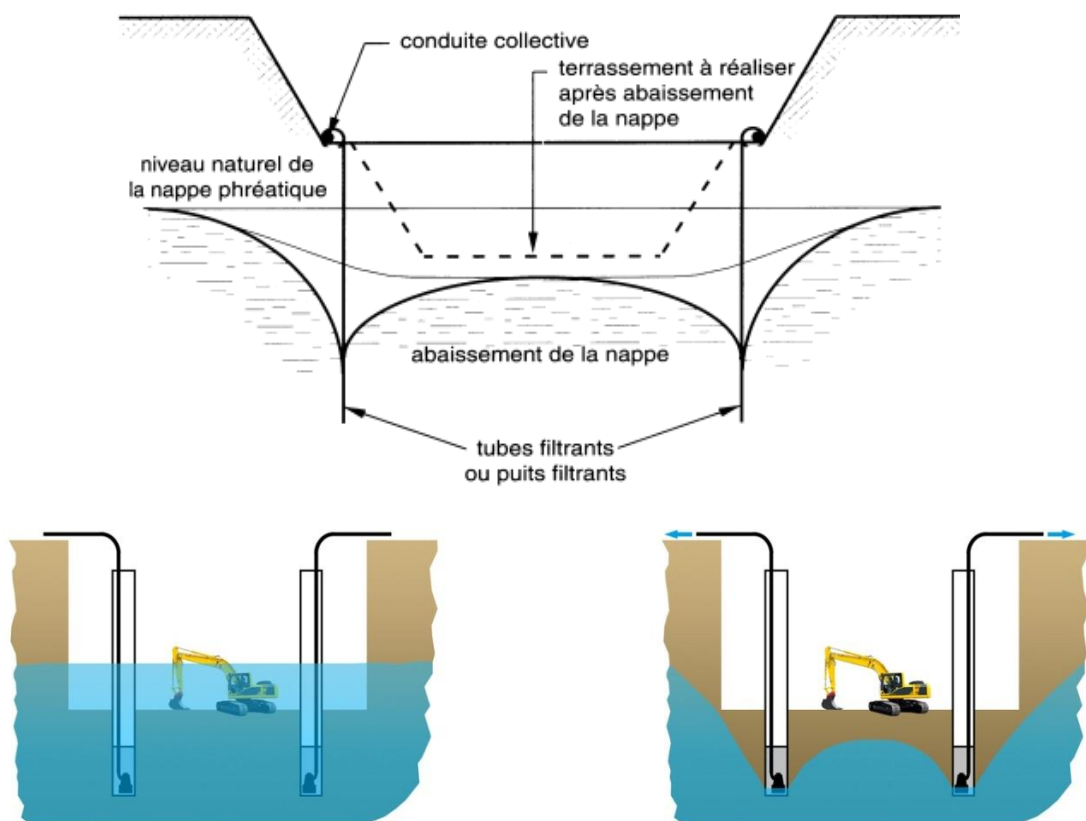


Figure 9 – Schémas de rabattement de nappe



Figure 10 – Rabattement de nappe

6.2.9. Déblais – Remblais

Déblais et remblais représentent également, en termes de métier, les terres extraites ou accumulées d'un terrassement.

- ✓ Le déblai consiste à enlever des terres pour abaisser le niveau du terrain.
- ✓ Le remblai consiste à apporter des terres pour surélever le terrain.



Figure 11 – Déblais - Remblais

Tolérances d'exécution des déblais et des remblais

Terrain non rocheux	Terrain rocheux
✓ Tolérance de niveau : ± 5 cm : Pour les différences de niveaux (plate-forme) et les contours des fouilles. ✓ Tolérance d'implantation : ± 5 cm.	✓ Les parois doivent être purgées des blocs dont la résistance est douteuse. ✓ Aucune saillie n'est autorisée par rapport aux niveaux prescrits sous les fondations, mais les surprofondeurs locales de 10 cm sont autorisées dans le cas des roches. ✓ Des surprofondeurs sont autorisées sous réserve d'être soigneusement comblées (éclats de pierre, sable) et damées, pour reconstituer un sol plan au niveau fixé.

6.3. FOISONNEMENT

6.3.1. Généralités

Le foisonnement est la propriété des sols d'augmenter de volume lorsqu'on les manipule (vide partiel apparaissant entre les particules plus ou moins grosses et les cailloux suite à la décompression des matériaux). Le foisonnement est très variable, de 10 à 40 % en amplitude, de 15 à 25 % en moyenne. Le tassement ultérieur des sols fraîchement remués et remis en place fait diminuer leur volume de 15 à 25 % environ.

L'estimation des foisonnements et des tassements se fait sur l'expérience du projeteur ou par essai sur des échantillons de la zone à terrasser. On doit donc bien différencier les volumes géométriques et les volumes réels avec foisonnements et tassements. De plus, la nature et la stratigraphie du sol n'est connu que de façon approximative, enlevant de la précision aux calculs

6.3.2. Les différents types de volumes

Lorsqu'on creuse un trou dans le sol, on constate en le rebouchant, que le volume de terres extraites de la fouille est supérieur à celui du trou, même après compactage, il reste un excédent de matériaux. Ce phénomène de décompression des terres est appelé « foisonnement ».

L'évaluation des déblais et des remblais se fait « en place » suivant les plans d'exécution. On distingue trois types de volumes :

- ✓ Le volume en place, noté V_p ;
- ✓ Le volume foisonné, noté V_f ;
- ✓ Le volume reconstitué (compacté), noté V_r .

Schématisation

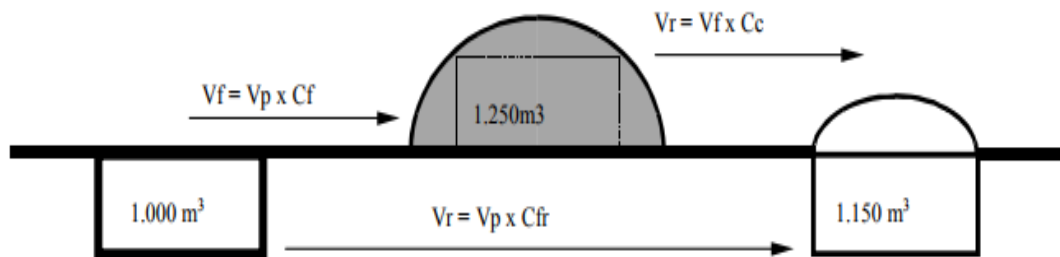


Figure 12 – Schématisation du foisonnement

6.3.3. Le coefficient de foisonnement C_f

Il permet d'évaluer le volume extrait (Apparent) d'un terrain déplacé, en fonction du volume en place :

$$V_f = C_f \times V_p$$

V_f = Volume foisonné

C_f = Coefficient de foisonnement

V_p = Volume en place

6.3.4. Le coefficient de compactage C_c

Il permet l'évaluation du volume reconstitué (V_r), de ce même volume foisonné (V_f), après sa mise en place et son compactage définitif. Il est rare d'obtenir un volume de terrain reconstitué (V_r) égal au volume initial en place (V_p).

$$V_r = C_c \times V_f$$

Dans le cas des terrassements routiers ou sur les chantiers de terrassement très importants, il est intéressant de prévoir l'exacte quantité à extraire pour obtenir un volume reconstitué précis. Cela évite les mouvements de terre inutiles et très onéreux.

6.3.5. Le coefficient de foisonnement résiduel

$$V_f = C_f \times V_p \implies V_r = C_c \times V_f = C_c \times C_f \times V_p$$

Ce qui donne :

$$V_r = C_c \times C_f \times V_p$$

Le coefficient $C_c \cdot C_f$ est appelé le coefficient de foisonnement résiduel et noté : C_{fr}

Ces différents coefficients sont exprimés de la manière suivante :

- ✓ Si le foisonnement est de 25 %, le coefficient de foisonnement est $C_f = 1,25$.
- ✓ Si le résidu de compactage est de 8 %, le coefficient de compactage est : $C_c = (1 - 0,08) = 0,92$.
- ✓ Le coefficient de foisonnement résiduel est alors : $C_{fr} = 0,92 \times 1,25 = 1,15$

Ce qui veut dire que le foisonnement résiduel est de 15 %

6.3.6. Exemple pratique

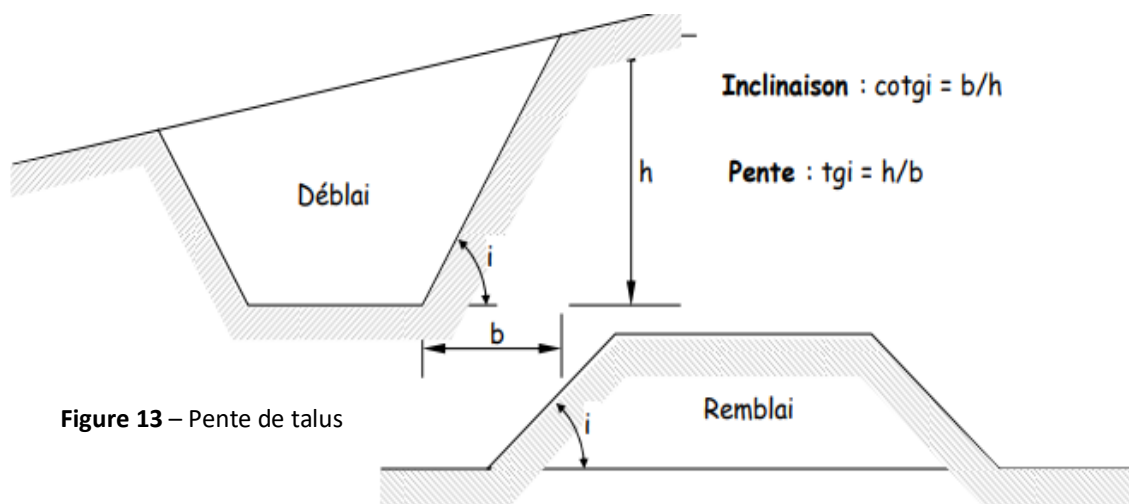
La réfection de la pelouse du stade omnisports de la ville d'EL-HADJAR a nécessité la mise en place de 3 000 m³ de terre végétale de bonne qualité. Cette quantité représente la quantité finale mise en place et compactée. Sachant que le coefficient de foisonnement apparent de la terre végétale extraite et transportée est de 1,25, quelle est la quantité nécessaire pour ce remblai. Si le résidu de compactage est de 10 %, quel est le coefficient de compactage C_c et le volume de terre végétale résiduel.

6.4. TALUS

6.4.1. Pente de talus

Pour obtenir un équilibre stable, nécessaire à la bonne tenue des terres en remblais et des tranchées, il convient de donner aux talus qui limitent ces terrassements, une inclinaison convenable. Cette inclinaison peut se définir :

- ✓ Soit par la tangente de l'angle (pente) que fait ce talus avec l'horizontale (talus à 4/5 ou à 80 %).
- ✓ Soit par la cotangente de l'angle (inclinaison) dont la valeur s'exprime généralement comme celle de la tangente, par une fraction (5/1, 3/2, 1/1, 2/3, etc.). L'expression de ces fractions se fait de la manière suivante : 5/1 (5 pour 1) ; 3/2 (3 pour 2), etc.



6.4.2. Angle de talus

L'angle (i) doit toujours être inférieur à l'angle de frottement interne ϕ , qui est caractérisé par la pente naturelle des terres, c'est-à-dire l'inclinaison que prend un talus, soumis à l'action des seuls agents atmosphériques. Cet angle de frottement interne dépend du degré de consistance et de la teneur en eau du terrain.

En terrain meuble, le degré de consistance du terrain a une grande influence sur la valeur de l'angle ϕ , qui est plus grande pour les talus de déblais en terrain non fraîchement remué (terrain naturel) que pour les talus de déblais en terrain rapporté ou fraîchement remué et les talus de remblais.

Cette différence tient au fait que le glissement, les unes sur les autres, des particules constituant un terrain meuble, rencontre dans les terrains non fraîchement remués, une résistance distincte de celle provoquée par le frottement réciproque des particules. Cette résistance est appelée « cohésion » et est d'ailleurs sujette à s'atténuer ou même à disparaître en cas de sécheresse, gel, etc.

En ce qui concerne la teneur en eau du terrain, c'est un correctif important à la valeur de l'angle ϕ , car elle facilite le glissement des particules les unes sur les autres, en adoucissant leur frottement, ce qui a pour effet de réduire sensiblement cet angle, quand le degré d'humidité est élevé. Il faut signaler, cependant, que les sables possèdent une cohésion qu'ils n'ont pas, quand ils sont secs ou immergés.

Compte-tenu de ces considérations, il faut donc éviter de donner aux talus, une pente plus raide que celle du talus naturel de la terre correspondante possédant un degré d'humidité identique.

Pratiquement : la valeur de l'angle ϕ , variant dans des limites assez étendues, il convient d'adopter, pour les talus de terrassement, les valeurs de l'angle (i), données dans le tableau ci-dessous. Les terrains sont classés selon les difficultés d'extraction. Le tableau ci-après donne les angles de talus naturel et les coefficients de foisonnement pour les différentes natures de terrain.

DESIGNATION	NATURE DES TERRES	ANGLE DE TALUS NATUREL	COEFFICIENT DE FOISONNEMENT
Terrain ordinaire	Sable	10 à 25 °	10 à 20 %
	Gravier	30 à 40 °	25 %
	Terre végétale	30 à 50 °	10 à 25 %
Terrain semi-compact ou moyen	Cailloux	40 à 50 °	50 %
Terrain compact	Argile	30 à 50 °	25 %
	Marne	30 à 45 °	25 %
Roches	Grès tendre	50 à 90 °	50 %
	Roches diverses		Plus de 50 %

6.4.3. Stabilité des talus

La stabilité des talus est certainement l'un des types d'ouvrages géotechniques qui a fait l'objet depuis, très longtemps à la fois, d'observations géologiques et de mesures, pour en comprendre les mécanismes, et de modélisations avec les méthodes de calcul de stabilité de pentes dont les plus anciennes ont déjà quelques siècles, et qui ont pour objet de caler les modèles géotechniques par rétro-analyses, puis de dimensionner les méthodes de confortement.

Mais, il est des cas où l'apport de la modélisation reste limité, par manque d'informations et de données d'entrée, ce qui n'empêche pas de trouver des solutions en s'appuyant principalement sur les observations.

La protection contre le risque de glissement de terrain, passe par l'étude du phénomène (nature de terrain, vitesse de déplacement, volume déplacé, facteur déclenchant), qui conduit à l'exécution de travaux de stabilisation.

Les techniques de stabilisation des glissements peuvent être classées en 3 catégories :

- ✓ Les terrassements ;
- ✓ Les dispositifs de drainage ;
- ✓ L'introduction d'éléments résistants.



Figure 14 – Glissement de terrain



Figure 15 – Talutage

6.4.3.1. Les terrassements

Ces techniques consistent à modifier la topographie du glissement afin de retrouver une situation d'équilibre.

L'allègement en tête de glissement : Cela consiste à décharger la "tête du glissement". Ce déchargement entraîne une diminution de la masse et donc des forces motrices. Il est également possible d'augmenter la stabilité d'un terrain en réduisant sa pente (talutage).

Le talutage : qui consiste à donner au parement la pente ou l'inclinaison nécessaire, pour que le terrain soit de profil légèrement oblique et non vertical, se trouve parmi les travaux de terrassement. Il évite l'écroulement du sol en arrêtant la compression des terres. Par définition, le talus désigne la face d'un parement de mur, qui présente une inclinaison plus grande. L'angle formé avec l'horizontale doit être supérieur à 30°. Cette solution est adaptée pour des talus non naturels ou de faible extension, mais généralement difficile à mettre en œuvre sur les versants naturels.

La purge totale : Cela consiste à supprimer les matériaux glissés. C'est une solution seulement applicable aux glissements de taille modeste, de faible profondeur.

La substitution partielle : Lorsque la purge totale n'est pas possible, la substitution se limite à des bêches, des contreforts, des masques ou des éperons qui, s'ils sont bien dimensionnés, peuvent suffire à la stabilisation.

Le chargement en pied : Le chargement en pied consiste à construire un ouvrage de butée en pied de glissement, afin d'équilibrer les forces motrices et de contenir les déplacements de la masse instable. Il est en général associé à du drainage.

6.4.3.2. Les dispositifs de drainage

L'eau joue très souvent un rôle déterminant dans le déclenchement des glissements de terrain, que cela soit par son action mécanique, physico-chimique ou chimique. Les dispositifs de drainage ont pour rôle de réduire l'action de l'eau soit en évitant l'alimentation en eau du site, soit en expulsant l'eau présente dans le massif instable.

Drainage de surface : Il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour limiter les infiltrations dans les terrains en mouvements, en collectant et en canalisant les eaux de surface (cunettes, caniveaux, fossés, etc.).

Drains subhorizontaux : La technique consiste à réaliser de nombreux forages, quasi horizontaux, dans le glissement, pour y placer des drains (tubes en PVC ou en acier), ainsi qu'un dispositif de captage des eaux. C'est la technique utilisée lorsque les contraintes d'accessibilité du site ou de profondeur de la nappe interdisent la réalisation de tranchées.

Tranchées drainantes : Ce sont des ouvrages qui permettent de rabattre le niveau des nappes phréatiques, diminuant ainsi, les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture.

Drainage profond : Il s'agit de collecter et d'évacuer les eaux à l'intérieur du massif et dans la masse instable. Cela permet de diminuer les pressions d'eau dans le massif, d'éviter les mises en charge brutales dans les discontinuités et d'abaisser le niveau de la nappe.

Il peut s'agir de :

- ✓ Drains subhorizontaux ;
- ✓ Drains siphons ;
- ✓ Galerie drainante ;
- ✓ Drains ou puits verticaux.

Maintenance et gestion : Tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées, suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène, justifiant la présence de l'ouvrage de protection.

6.4.3.3. L'introduction d'éléments résistants

La mise en place d'éléments résistants n'influe pas directement sur la cause du mouvement, mais sur ses conséquences.

Les éléments résistants (type ouvrages de soutènement, tirants, ancrages, rangées de pieux...) visent à réduire ou arrêter les déformations. Ces techniques sont intéressantes, dans le cas où, les techniques de stabilisation, type terrassement ou drainage, ne peuvent être techniquement ou économiquement mises en œuvre.

Enrochement : Éperons drainants et enrochement en pied de glissement, pour contrer l'avancée des matériaux sur la chaussée.

Gabions : Mur de gabions (casiers remplis de pierre en grillage métallique), disposé en pied de glissement, pour stopper son évolution vers la route.

Ouvrage rigide : Partie supérieure souple : mur de pierres emboîtées, partie inférieure rigide : mur en béton (pied du glissement) avec ancrages (masqués par le béton).

Nappe en géosynthétique : Protection du talus à l'aide d'une nappe de géosynthétique, fixée par des câbles, des ancrages (permet de limiter l'érosion par les circulations superficielles d'eau) et du béton projeté, destiné à bloquer le mouvement du sol. Le long de la route, un mur de soutènement empêche la progression des terrains sur la chaussée.

Systèmes d'ancrages : Les ancrages peuvent être de deux (02) types : soit passifs soit actifs.

- ✓ Un ancrage passif est constitué par une ou plusieurs armatures (barres d'acier) scellées dans le rocher, assurant la solidarisation d'un volume potentiellement instable avec le massif stable situé en arrière.
- ✓ Les ancrages actifs sont constitués de barres ou câbles scellés en fond de trou, au-delà de la zone instable et mis en tension (mesurée à l'aide d'un manomètre).

Nappe de géotextile biodégradable et écran en rondins de bois entrecroisés : En partie haute : nappe de géotextile biodégradable favorisant la revégétalisation. En partie inférieure : écran réalisé en rondins de bois entrecroisés et remplissage de petits blocs.

6.5. CALCUL DES CUBATURES DE TERRASSEMENTS

6.5.1. Profil en long

Le profil en long d'une route est, avec le profil en travers et le tracé en plan, un des trois éléments qui permettent de caractériser la géométrie d'une route. Il est obtenu par élévation verticale, dans le sens de l'axe de la route, de l'ensemble des points constituant celui-ci. C'est donc une coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé.

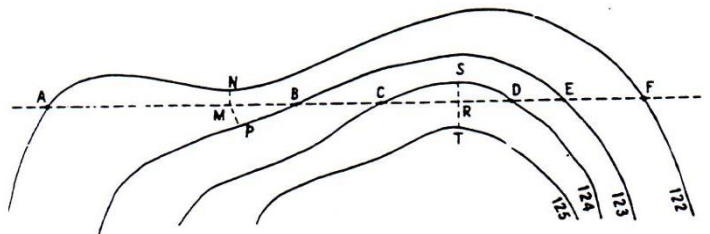


Figure 16 – Courbes de niveau

Les cotes sont prises sur les courbes de niveaux ou le terrain. Lorsque la convexité des courbes n'est pas régulière, on peut interpoler les points, les interpolations se faisant suivant la ligne de plus grande pente.

6.5.1.1. Pentes du profil en long

Le profil en long est profondément marqué par la valeur très faible des pentes qu'on peut donner à la route, pour assurer des vitesses de circulation convenables et par les problèmes de visibilité nécessaire à une conduite non dangereuse.

Le profil en long est ainsi constitué d'une succession de segments de droites (ou pentes) et d'arcs de cercles, permettant de raccorder entre eux, les segments de droites. La pente des droites ne peut dépasser un certain maximum, fixé pour chacune des catégories de route : 4 à 8 %, selon les catégories de routes. D'autre part, on n'emploie normalement jamais de pente nulle, de façon que l'écoulement des eaux s'effectue facilement. On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes :

- ✓ 0,5 % dans les zones où la pente transversale de la chaussée est inférieure à 0,5 %, s'il y a risque de verglas.
- ✓ Au moins 0,2 % dans les longues sections en déblai : pour que l'ouvrage longitudinal d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément enterré du côté aval.
- ✓ Au moins 0,2 % dans les sections en remblai prévues avec des descentes d'eau.

Les lignes droites représentant le profil en long de la route (ligne rouge) par rapport au terrain naturel sont tracées de manière à :

- ✓ Eviter des terrassements inutiles : position proche de la surface du terrain naturel,

- ✓ Minimiser le mouvement des terres et équilibrer les déblais et les remblais, si possible,
- ✓ Accentuer la position en déblais pour les matériaux utiles, afin d'accroître leur utilisation en remblais et éviter d'avoir recours aux zones d'emprunt et protéger l'environnement,
- ✓ Accentuer la position en remblais pour éviter un mauvais matériau ou un matériau d'extraction onéreuse, rendre plus agréable la route à l'utilisateur, éviter une zone inondable.

6.5.1.2. Tracé du profil en long

On trace Le profil à réaliser, au moment des terrassements (ligne de fond de forme), à partir de laquelle on calcule les terrassements, puis Le profil du projet, dans l'axe de la chaussée terminée (traditionnellement tracé en rouge).

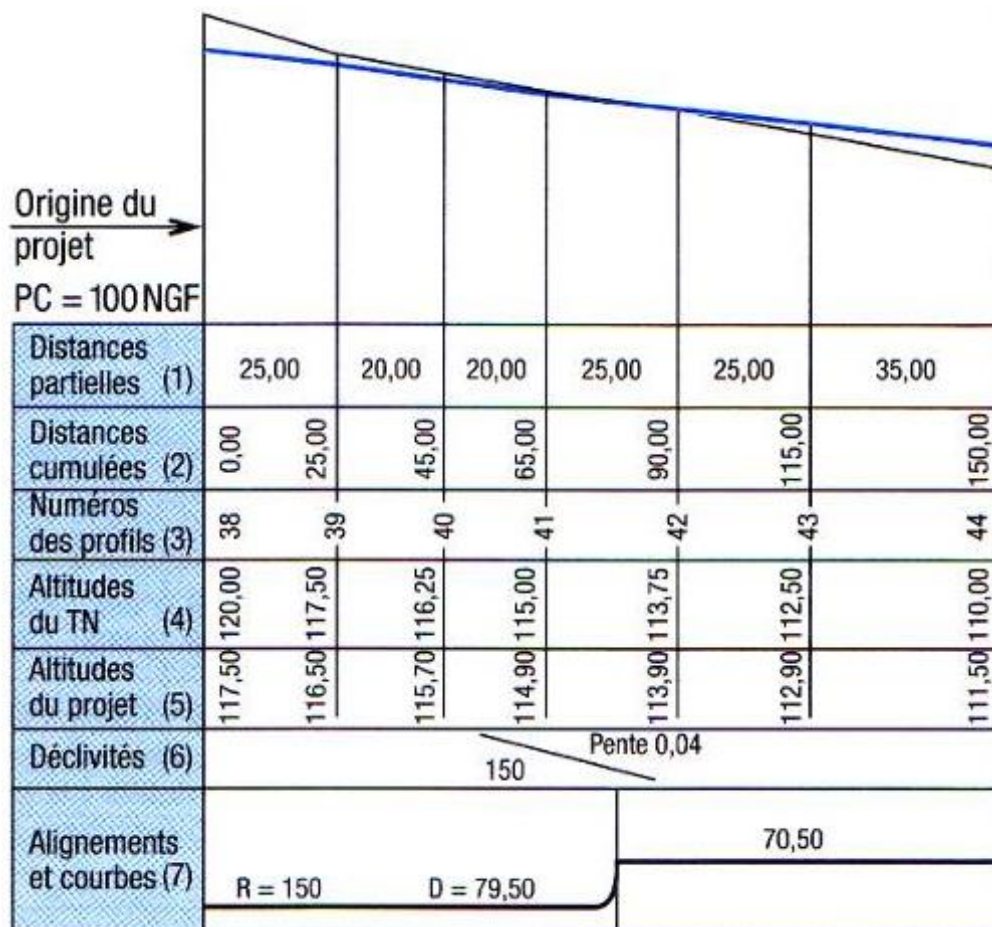
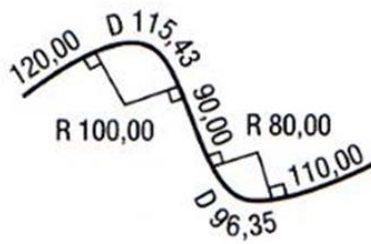


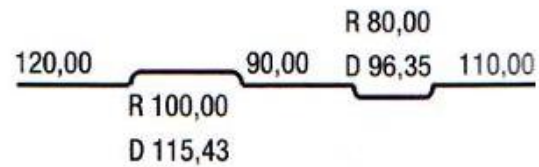
Figure 17 – Profil en long

- (1) Distances partielles (distances entre profils) ;
- (2) Distances cumulées ;
- (3) Numéros des profils (Ici, nous avons pris le profil 38 comme origine du projet) ;
- (4) Altitudes du terrain naturel (TN) ;
- (5) Altitudes du projet, mesurées sur l'axe de la chaussée ;
- (6) Déclivités : Indication des pentes, des rampes et paliers, ou encore, des raccordements circulaires ;
- (7) Alignements et courbes : à placer en relation avec le plan général (Voir figure - 18)

(Pour les bâtiments, le profil en long est représenté par une coupe des fondations et des fouilles à l'axe longitudinal de ceux-ci).



Vue en plan de l'axe de la chaussée



Représentation sur le profil en long

Figure 18 – Alignement et courbes

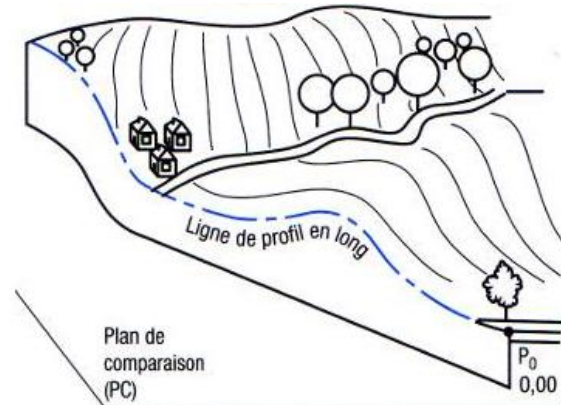
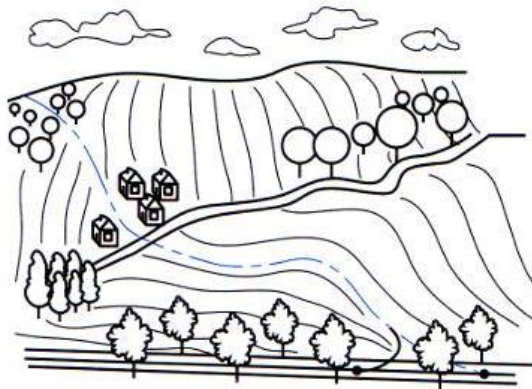


Figure 19 – Profil en long – Schéma de principe

6.5.1.3. Cotations

- ✓ Les abscisses sont à l'échelle des longueurs, les distances comptées horizontalement, suivant l'axe à l'origine du tracé.
- ✓ Les ordonnées sont à l'échelle des hauteurs, les altitudes comptées par rapport à un plan horizontal de référence (plan de comparaison). Ce plan est toujours choisi à une cote ronde d'altitude (multiple de 5 ou 10 m), qui doit être inférieure à la cote du point le plus bas du sol ou du projet.
- ✓ Les longueurs et les côtes de niveau sont en m (2 décimales).
- ✓ L'orientation est de la gauche vers la droite.

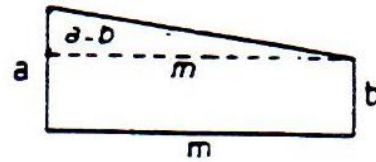
On indique sur le profil:

- ✓ L'altitude des points du terrain,
- ✓ Les altitudes projetées de ces mêmes points,
- ✓ Les distances partielles entre deux points successifs,
- ✓ Les distances cumulées de l'origine du profil jusqu'à chaque point,
- ✓ Les numéros des profils en travers (tous les 20 à 50 m),
- ✓ Les déclivités du projet (pentes et rampes),
- ✓ Les longueurs des alignements droits,
- ✓ Les rayons, développements et angles aux centres des courbes.

Nota: l'échelle des hauteurs est de 5 à 10 fois plus grande que celle des longueurs.

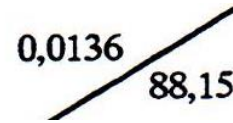
Déclivité : Tangente de l'angle que fait le terrain avec l'horizontale :

$$\frac{a - b}{m}$$



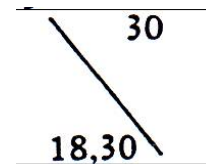
Rampe : Déclivité parcourue en montant.

Exemple : 0,0136 m par m sur 88,15 m.



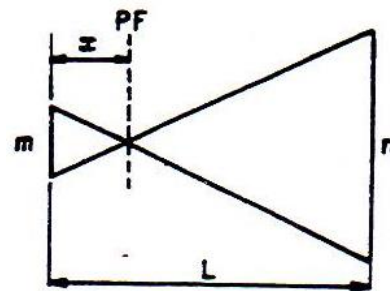
Pente : Déclivité parcourue en descendant.

Exemple : 30 mm par m sur 18,30 m.



Profil fictif : Profil situé au point de rencontre de la ligne de terrain naturel et de la ligne de projet. On le note PF et l'on l'utilise pour le calcul des volumes de terrassements.

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



6.5.2. Profil en travers

En conception routière, le **profil en travers** d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de la surface définie par l'ensemble des points représentatifs de cette surface. Le profil en travers peut se rapporter soit au terrain naturel, soit au projet. En général, on représente sur le même document, à la fois terrain naturel et projet, ce qui permet de bien percevoir l'intégration du projet dans le milieu naturel.

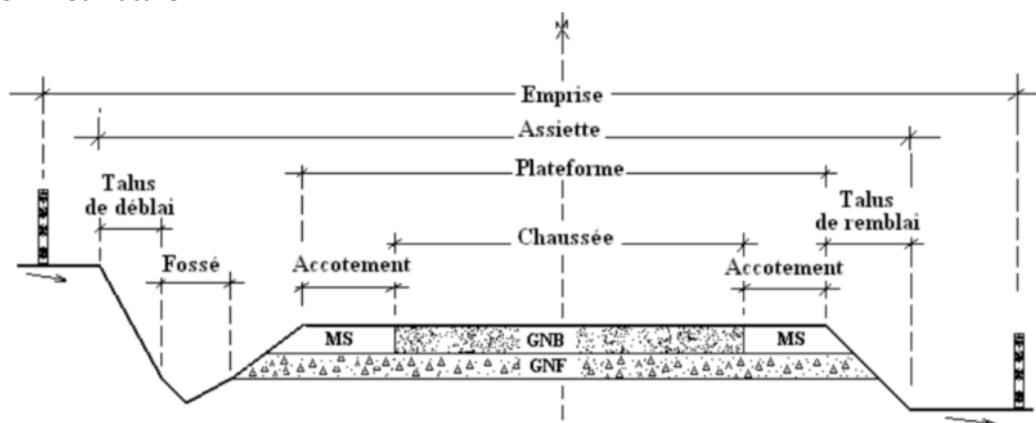


Figure 20 – Profil en travers – Terminologie

6.5.2.1. Largeur de chaussée

En rase campagne et pour les roues principales neuves, une dimension de 3,50 m est désirable pour la largeur des voies, pour assurer la commodité et la sécurité du passage d'un véhicule. L'aménagement normal d'une chaussée à 2 voies devrait donc, en principe, offrir normalement une largeur de 7 mètres en section courante.

La largeur de la voie dépend essentiellement du volume de la circulation et de la vitesse admissible. Sur les routes à circulation faible et légère (trafic inférieur à 500 véhicules par jour) et dont le relief n'autorise pas des vitesses élevées, l'aménagement normal peut comporter une chaussée de 6 mètres de largeur. On peut même conserver une largeur inférieure à 6 mètres pour des routes à très faible trafic (trafic ≤ 200 véhicules par jour).

Dans les zones urbaines, la largeur de chaussée peut être réduite à 4,00 m. Cette largeur suffit en effet au croisement de deux véhicules légers. Lorsque le croisement de poids lourd, sur ces voies, est récurrent une largeur de 5,50 m est préférable.

Lorsqu'une largeur de 7 mètres ne permet pas de satisfaire aux exigences de la circulation, on peut passer soit à :

- ✓ Une chaussée à trois voies,
- ✓ Une chaussée unique de quatre voies ou plus,
- ✓ Deux chaussées séparées par un terre-plein, à deux voies ou plus, affectées chacune à un seul sens de circulation.



Figure 21 – Route à 2 voies



Figure 22 – Route à 3 voies



Figure 23 – Route à 4 voies



Figure 24 – Route à 2x2 voies

6.5.2.2. Pentes transversales

Le profil de la chaussée est constitué par deux versants de plans raccordés sur l'axe, sauf pour les chaussées unidirectionnelles qui comportent un seul versant plan dirigé vers l'extérieur.

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface. Dans les rayons de courbure faible, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7 %). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives. Ce maximum doit être réduit dans certains cas comme, par exemple, les zones enneigées ou soumises à du verglas fréquent, ainsi que les zones où la pente, en profil en long, est déjà forte. En alignement droit ou en courbe non déversée, il est de l'ordre de 2,5 % pour les chaussées revêtues.

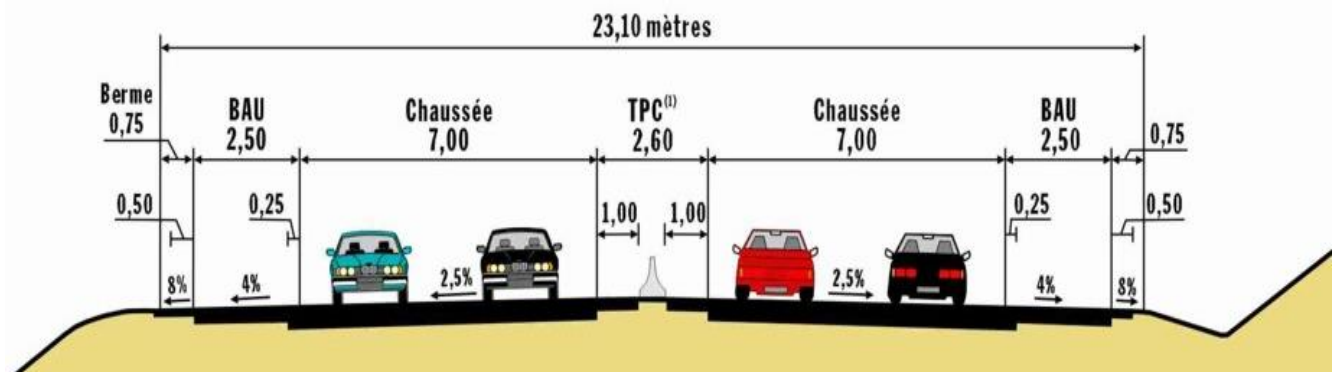


Figure 25 – Profil en travers – Pentes transversales

Exemple de profil en travers

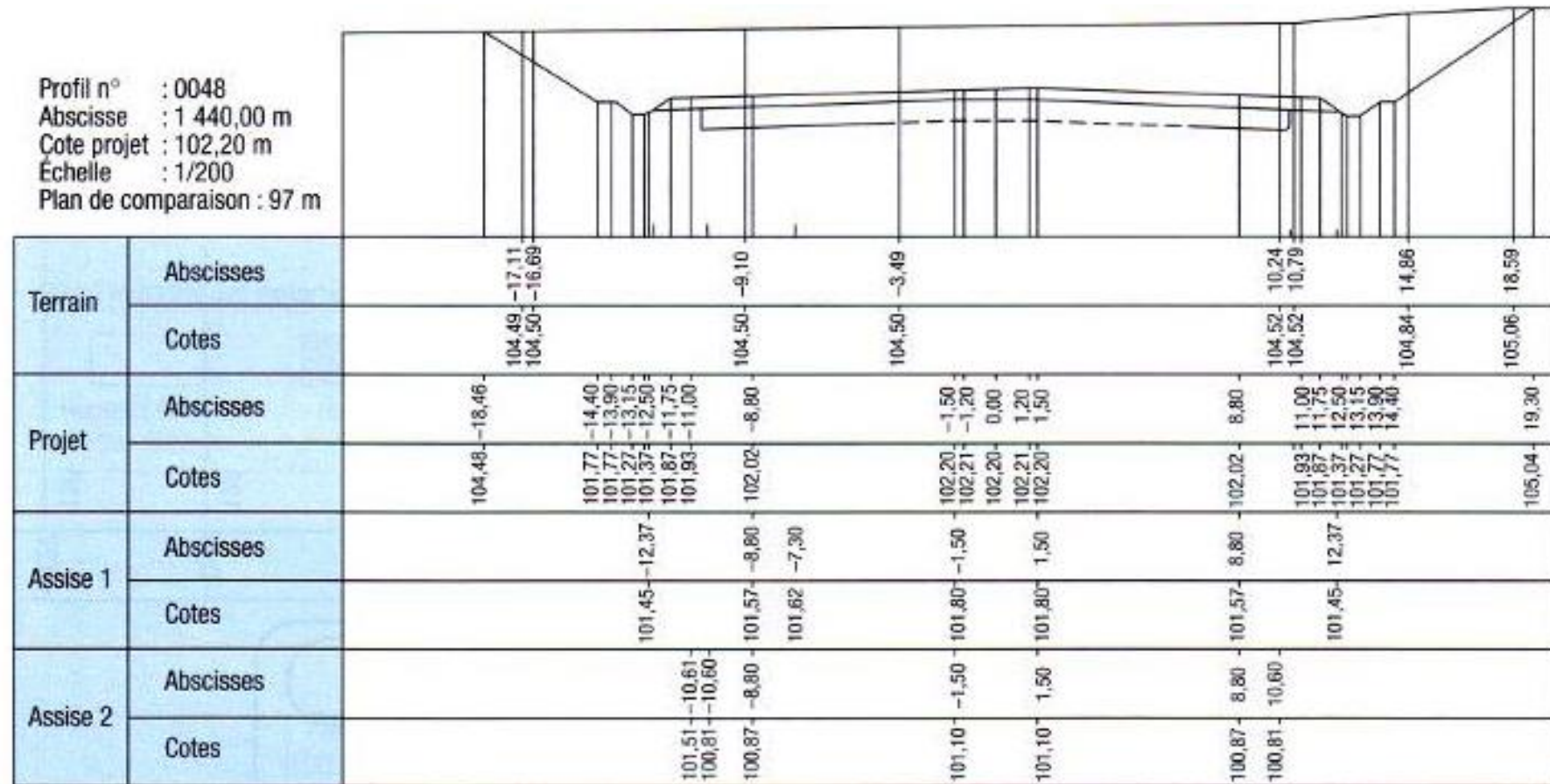


Figure 26 – Exemple de profil en travers

Attention : on rabat habituellement le profil vers l'origine; le dessinateur a donc le côté droit de la route à sa gauche et inversement. Sur les profils en travers on note :

- ✓ Une horizontale de référence avec son altitude,
- ✓ Les altitudes du terrain naturel,
- ✓ Les altitudes du projet,
- ✓ Les distances du terrain et les distances du projet.

6.5.3. Cubature de terrassements

La cubature de terrassements est l'évaluation du volume des terres à enlever ou à mettre en remblai pour l'exécution du projet. Cette évaluation se fait de l'origine du projet vers l'extrémité, les profils en travers donnant les sections des remblais et déblais (surfaces de bases), les profils en long, la distance entre ces profils (hauteur).

Lors de l'estimation des cubatures de terrassement, on remplace les surfaces ondulées du terrain par des figures géométriques connues telles que rectangle, triangles, prismes, trapèzes, etc. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation des cubatures de terrassements ; il est développé une seule dans le présent chapitre : La méthode de la moyenne des aires.

Pour ce cas de figure, le volume de remblai entre les profils P_1 et P_2 , est donné par la formule du prismatoïde (formule des trois niveaux) : $V_{r1} = \frac{D_1}{2} (r_1 + r_2)$

Avec :

- ✓ V_{r1} : Volume de terrassement entre les profils en travers P_1 et P_2 .
- ✓ D_1 : distance entre les profils en travers P_1 et P_2 .
- ✓ r_1 : surface du profil en travers P_1 , en remblai.
- ✓ r_2 : surface du profil en travers P_2 , en remblai.

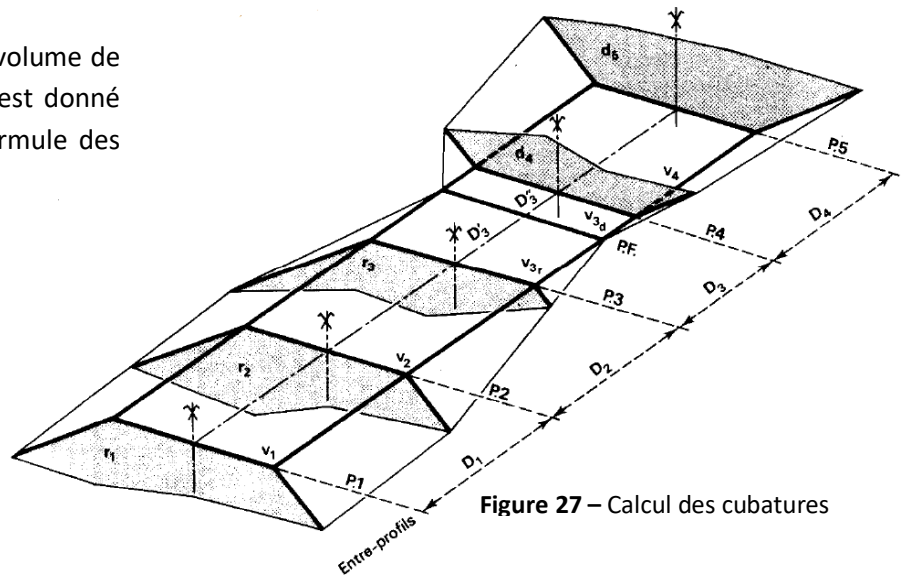


Figure 27 – Calcul des cubatures

Le volume de remblai entre ces deux profils consécutifs est donc égal au produit de la moyenne des aires de ceux-ci par la distance entre les deux profils.

On arrive ainsi à calculer les volumes en déblai et en remblai. Si l'on n'utilise pas l'outil informatique, on présentera les calculs dans un tableau de type suivant :

N° des profils	Distance entre profils	Distance d'application	Déblais		Remblais	
			Surface	Volume D	Surface	Volume R
1	D_1	$D_1/2$	0	0	r_1	V_{r1}
2			0		r_2	
2	D_2	$D_2/2$	0	0	r_2	V_{r2}
3			0		r_3	
Etc.....						

Pour une suite de profils, on généralise la formule ci-dessus. Entre le profil P_3 (remblai) et le profil P_4 (déblai), il existe une ligne de passage que l'on appelle profil fictif (P.F.), de superficie nulle. C'est aux points fictifs que l'on passe entre déblai et remblai. On est obligé de considérer les profils fictifs (de section nulle), si l'on veut avoir des calculs exacts.

Après avoir calculé la distance horizontale D'_3 entre le profil P_3 et le profil fictif (P.F.) et D''_3 entre le profil fictif (P.F.) et le profil P_4 , on applique la méthode de la moyenne des aires, en considérant qu'au niveau du profil fictif, la superficie est nulle.

Entre P_3 et P.F., le remblai vaut :

$$V_{3r} = D'_3 \frac{r_3 + 0}{2} = D'_3 \frac{r_3}{2}$$

De même, entre P.F. et P_4 , le volume de déblai vaut :

$$V_{3d} = D''_3 \frac{0 + d_4}{2} = D''_3 \frac{d_4}{2}$$

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

6.6. LES ENGIN DE TERRASSEMENT

6.6.1. Les engins d'excavation

Ils permettent l'extraction des terres et leur chargement en vue de leur évacuation du chantier. Les principaux engins sont :

6.6.1.1. Pelle mécanique hydraulique

La pelle mécanique hydraulique est un engin de chantier également connu sous le nom de pelle hydraulique, pelleteuse ou excavatrice. Quand elle est de petite taille, on parle de mini pelle, de midi pelle ou encore de micro pelle (lorsque l'engin pèse moins de deux tonnes).

Ce matériel ne doit pas être confondu avec une tractopelle qui est l'association d'une pelle hydraulique et d'un chargeur sur pneus ou d'un tracteur, et qui dispose de moins d'axes de mobilité (et notamment, qui ne dispose pas de la rotation de l'ensemble cabine / outil).



Pelle équipée en rétro



Pelle équipée en butée

Figure 28 – Pelles mécaniques hydrauliques

6.6.1.2. Chargeur ou chargeuse

Un chargeur ou chargeuse est un engin de chantier qui comporte un corps automoteur articulé et une benne de grande taille à l'avant. Celle-ci, aussi appelée godet, peut effectuer un mouvement vertical et pivoter autour de son axe porteur. Les imposantes roues du chargeur, mues par un moteur puissant, permettent la pratique de tous types de terrain suffisamment durs et une poussée importante vers l'avant.

Il existe deux types de chargeurs : le chargeur sur pneus et le chargeur sur chenilles. En version plus compacte, il existe aussi : la mini chargeuse (ou mini chargeur), plus connue sous le nom de « bobcat ».



Chargeur sur chenilles



Chargeur sur pneus

Figure 29 – Chargeurs ou chargeuses



Figure 30 – Mini chargeur ou bobcat

6.6.1.3. Tractopelle ou rétrochargeur

Une ou un tractopelle est un engin de chantier combinant un chargeur sur pneus et une pelle mécanique. La pelle, de petite taille, est surtout destinée à des travaux légers (creusement de tranchées, ou en agriculture pour le ramassage du fumier). Cet engin est aussi appelé « chargeuse-pelleteuse », « rétrocaveuse » ou « pelle rétro ». Au Québec, le surnom « *pépine* » est très courant. En Suisse-romande, on l'appelle couramment « trax ».



Figure 31 – Rétrochargeur ou tractopelle

6.6.2. Les engins de nivellement

Ils assurent la mise en forme des terres. Les principaux engins sont les suivants :

6.6.2.1. Bulldozer

Le bulldozer est un tracteur à chenilles (et plus rarement sur pneus) muni d'une lame frontale permettant de déplacer des matériaux. L'outil de terrassement est une lame profilée portée par deux bras articulés qu'un mécanisme hydraulique permet de rabaisser ou de relever.

Il est principalement utilisé pour les chantiers de construction et est souvent accompagné d'une pelleteuse.

Si la lame est en position basse, l'engin fait un terrassement par raclage avec une profondeur de coupe de 20 à 30 cm. En mettant la lame en position intermédiaire, on peut régler des tas de déblais en couches d'épaisseur de 20 à 30 cm également. La position haute est une position de transport

Ces engins sont appelés les « angledozers », « tiltdozers », « tipdozers » ou « bouteurs biaux ». Ils peuvent aplanir des tas de déblais en les rejetant sur le côté.



Figure 32 – Bulldozer

Généralement, les bulldozers sont équipés d'un dispositif de ripage, monté à l'arrière de la machine. Il peut être à soc unique ou à plusieurs socs. Le nombre de socs à adopter résulte de l'analyse du sol à traiter : dans un terrain où la pénétration des dents est facile, il y a intérêt à augmenter le nombre de dents ; pour les terrains très durs et compacts, il est généralement indiqué d'utiliser un seul soc avec le choix d'une machine puissante.

6.6.2.2. Décapeuse ou scraper

La décapeuse appelée aussi scraper ou motor-scraper est généralement utilisée pour l'arasement des sols. Cet engin possède une benne avec tiroir éjecteur pouvant se surbaïsser et qui, par l'effet du déplacement de la machine, permet d'extraire les matériaux.

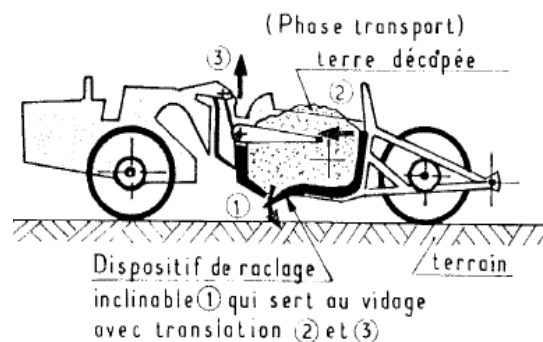


Figure 33 – Décapeuse ou Scraper

6.6.2.3. Niveleuse

Une niveleuse est un engin de chantier constitué essentiellement de six roues, d'une lame de grande largeur qui permet de régler en hauteur des couches de matériaux dans le talutage en gradin (*grading*) par exemple; éventuellement, elle est équipée également d'une lame frontale (appelée lame *bull* en rapport avec la lame du *bulldozer* ou *bouteur*), et d'un *peigne* (sorte de dents qui permettent de décompacter des couches de matériaux en place).



Figure 34 – Niveleuse

6.6.3. Les engins de transport

Ils assurent le transport des terres foisonnées du lieu d'excavation ou de reprise vers le site de dépôt.
Les principaux engins sont :



Figure 35 – Tombereaux rigides



Figure 36 – Camions à bennes basculantes au gabarit routier