

Université Mohammed Boudiaf

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

Cours PGC Procédés Généraux de Construction Partie01

Présenté par Docteur Menasri

Master 2

Année universitaire 2023-2024

TERRASSEMENT GENERAUX

DEFINITION

Les terrassements correspondent à la première phase de travaux en vue de l'édification d'un ouvrage. Ils regroupent tous les ouvrages et travaux destinés à modifier provisoirement ou définitivement les formes d'un terrain.

Les ouvrages de terrassement regroupent principalement l'exécution des travaux suivants : -Les fouilles
-Les déblais, les remblais
-Les tranchées, le talutage, etc

I- LES ETUDES PREALABLES :

Ces réflexions peuvent être adaptées et généralisées à tout type de chantier : gros œuvre par exemple. Une visite du site et de ses abords est souvent indispensable pour mieux appréhender les caractéristiques du chantier. Elle favorise l'approche du dossier et facilite la rédaction des documents qui serviront à la bonne marche du chantier.

Elles s'appuient sur un Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) qui peut comprendre entre autres :

- des pièces écrites dont le rapport d'études des sols permettant de connaître des caractéristiques des terrains qui seront rencontrés lors des travaux :

- la stratigraphie des couches de terrain,
- les caractéristiques mécaniques et physiques,
- la présence d'eau

les pentes possibles des talus, le drainage, la possibilité d'utiliser des déblais pour un remblaiement ultérieur.

Pour les décrire, une distinction entre marché privé et marché public est nécessaire : ☆ Le cahier des Clause Administratives Générales (CCAG) ou le cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) est applicable aux marchés publics (travaux effectués dans un but d'intérêt général, sous le contrôle d'une personne publique : mairie, école...), sans être toujours joint à chaque marché particulier.

Ils sont toutefois cités et doivent être respectés sauf si des documents particuliers (acte d'engagement, CCAP, CCTP) viennent préciser des clauses particulières au marché étudié. Pour le lecteur qui ne serait pas familiarisé avec cette terminologie, voici brièvement expliqué le contenu ou l'utilisation de ces différents documents :

☆ L'acte d'engagement concerne l'entreprise qui s'y engage à effectuer les prestations demandées pour un certain prix dans un délai donné.

☆ Le **CCAG** est un recueil de clauses courantes (administratives, juridiques ou financières) relatives à l'exécution d'un marché public. Les parties d'un contrat peuvent y déroger mais il permet d'alléger la rédaction des contrats.

☆ Le **CCAP** définit les conditions particulières de réalisation du projet du point de vue administratif et financier : nature du marché et des travaux, quantités, mois de référence retenu pour l'établissement des prix, modalités choisies pour actualiser ou réviser les prix, pour le règlement définitif des travaux ou les pénalités pour retard (par rapport au délai attribué)...

☆ Le **CCTP** (anciennement dénommé devis descriptif) définit l'opération étudiée : matériaux à utiliser, localisation des ouvrages, limites de prestation entre corps d'état, hypothèses de calcul (exemple pour l'étalement d'un coffrage), techniques d'exécution envisagées : phases, mode de réalisation d'un soutènement provisoire lors de la réalisation d'une fouille ou encore, solution technologique retenue pour réaliser les planchers pour un bâtiment.

-des plans (plan masse, coupes dans le cas des ouvrages de bâtiments, des profils dans des ouvrages de travaux publics), faisant notamment apparaître les pentes des talus. A partir de ces informations, le responsable des études détermine les volumes de production à atteindre, donc le matériel nécessaire,

compte tenu des délais accordés, pour aboutir à une soumission, lors de la remise de l'offre, au meilleur coût.

Documents à établir :

- **Relevé des obstacles** ou particularités liées aux mitoyennetés éventuelles (position, nature), à la végétation à conserver, aux canalisations enterrées.
 - **Phases de démolition :**
- **Nature, qualité, volume des terres à déplacer :** ces indications sont reportées sur des plans de mouvements de terre (éventuellement associés à des notes de calcul des soutènements ou de reprises en sous-œuvre à mettre en place en raison des mitoyennetés : zones d'emprunt, de dépôt ou d'évacuation des terres, décharges.
- **Conditions climatiques locales :** les intempéries (alternances pluie temps sec, périodes de gel dégel) transforment de façon importante le comportement des sols qui peuvent devenir impraticables aux machines.
 - Été : temps sec et chaud, pluies rares. Les terrains argileux sont difficiles à travailler, par exemples.
 - Hiver : temps humide, température basse, gel. Les travaux s'en trouvent perturbés, quelle que soit la nature du terrain.
- **Choix des matériels employés** (bien souvent, on utilisera en priorité celui disponible dans l'entreprise !) : études des temps de cycles des engins en relation avec la production horaire (ou journalière) imposée par les délais.
 - **Accès et circulations sur le chantier pour :**
 - des matériels généralement lourds,
 - les ravitaillements en fluides (fioul),
 - le personnel.
 - **Etudes de prix :** par sous détail de prix
 - **Prévision de la main d'œuvre**
 - **Planigramme général des travaux**
- **Installation de chantier :** lors de l'exécution, on vérifiera que les hypothèses retenues et les conditions réelles permettent de tenir les délais prévus avec un coût de revient acceptables. Des adaptations, au fur et à mesure de l'apparition de problèmes, seront indispensables pour aboutir à un bilan de chantier positif.

II- LES OPERATIONS DE DEMOLITIONS :

1- RECONNAISSANCE DE L EXISTANT :

Avant tout engagement de travaux, une analyse préalable est indispensable, qui concernera l'ouvrage lui-même mais aussi ses mitoyens, pour définir leur typologie et constater leur état de conservation.

Pour cela, il faut connaître (ou savoir reconnaître) la technologie de construction des ouvrages anciens.

Les opérations à mener sont les suivants :

- Identifier les éléments principaux contribuant à la stabilité de l'ouvrage Les cages d'escalier, qui forment souvent des éléments de contreventement dans les structures anciennes, doivent être conservées le plus longtemps possible. Elles facilitent en plus les déplacements des ouvriers.
 - Un plancher ne doit être abattu, en général, qu'après démolition des refends qu'il porte. Rappelons que les deux rôles mécaniques assurés par les planchers sont : - le report des charges sur les ouvrages verticaux sous-jacents (poteaux, murs), - le raidissement et l'indéformabilité de la structure d'ensemble (butée, chaînage) et notamment, l'anti-flambement des parois verticales porteuses.
- Analyser la nature des mitoyens, leur résistance et les conséquences de la démolition sur leur stabilité en phase provisoire et définitive.

Des saignées sépareront les ouvrages mitoyens des planchers et des murs de l'ouvrage à démolir, avant qu'on procède à l'effondrement quels que soient le moyen et les matériels retenus.

· Repérer :

- les réseaux : eau, assainissement, électricité, gaz.... ;

- les cuves à hydrocarbures. Leur présence interdit en général l'emploi de procédés à flamme nue comme le chalumeau ou la lance thermique.

PHASAGE DES TRAVAUX

A partir de cette reconnaissance et en tenant compte bien sûr des conditions du marché (délais, prix), les modes opératoires des différentes phases de démolition peuvent être élaborés.

Il est souhaitable que chaque phase soit bien délimitée (dans l'espace et dans le temps) pour qu'un suivi efficace puisse être mis en place, de façon à veiller à la sécurité des exécutants et au bon déroulement du chantier.

L'exécution des travaux se déroule alors de la manière suivante :

- enlèvement des cloisonnements légers, des équipements techniques....,

- démolition du gros œuvre, pour un étage donné, à partir du haut, en commençant par les murs pour finir par les planchers.

On commence bien évidemment sous les combles, et on descend progressivement vers le sous-sol.

2- PROCEDES D'EXECUTION LES PLUS COURANTS

- Le dérasement (démolition de la partie supérieure d'un mur), l'effondrement ou l'éboulement concernent essentiellement les constructions anciennes (à ossature bois ou métallique), en maçonnerie de petits éléments, de quelques niveaux.

PGC Procédés Généraux de Construction

· La dislocation ou la fragmentation, l'abattage d'éléments horizontaux ou verticaux sont utilisés pour les constructions récentes, en béton armé, qui sont plus massives. · Le démontage est plutôt réservé aux constructions métalliques, aux charpentes notamment.

· Le découpage est recommandé, par exemple, dans le cas de création d'ouvertures dans une ossature en béton armé, pour le démontage d'une charpente ou d'une ossature métallique ancienne.

L'utilisation d'un chalumeau est interdite en présence de cuves ayant contenu des hydrocarbures.

3- MATERIEL EMPLOYE

Quelle que soit la technique choisie, on utilise des outils portatifs et des moyens mécaniques portés par des engins, qui sont détaillés.

Des moyens plus exceptionnels comme les explosifs sont parfois employés : leur emploi ne doit pas ébranler le terrain ou les maçonneries voisines et ne doit pas disloquer le terrain au dessous du niveau prévu. Dans tous les cas, la finition de la fouille (fond et parois) doit être achevée par des moyens traditionnels.

Réservé aux grosses opérations (des immeubles entiers en béton armé, des massifs...) et à un personnel spécifiquement formé, cette technique n'est pas développée ici.

4- OUTILS PORTATIFS

· Les plus courants sont la pioche, la masse, le marteau-piqueur frappant le béton à de grandes cadences (outil bruyant qui nécessite par ailleurs un compresseur pour obtenir de l'air comprimé).

- Les outils de forage permettent de découper en éléments transportables : ponctuels, les trous circulaires facilitent la mise en place d'explosifs ou d'éclateurs ; jointifs, ils permettent de réaliser un contour de découpe.
- Les outils de sciage (scies diamantées) réalisent des saignées nettes. · La lance thermique, en permettant d'obtenir une source de chaleur très intense sur une petite surface, détruit les matériaux. Le forage est rapide, peu bruyant, sans vibrations, mais dégage des étincelles et des fumées. Ce procédé est utilisé, par exemple, pour réaliser des saignées qui affaiblissent ou délimitent la zone à abattre dans un mur en béton armé.

5- OUTILS « MECANIQUES »

- **Le godet** d'un bouteur ou d'une pelle mécanique, pour de petites constructions peu élevées, permet de procéder à un abattage par poussée.
- **Un câble** permet l'abattage par traction d'éléments verticaux entourés en partie supérieure. Ce procédé est très utilisé pour les murs maçonnés.

L'élément de traction peut aussi être un engin mécanique (pelle, bouteur, chargeuse) qui agit avec son godet pour provoquer l'éboulement de toute ou partie de la construction. Un boulet (10 à 20 kn) suspendu par un câble au bras d'une grue mobile (sur chenilles pour être plus stable) est animé d'un mouvement pendulaire ou tombe sous son poids : ce procédé simple, économique, mais qui produit beaucoup de poussière, est réservé aux grandes opérations, comme par exemple la démolition d'une usine. Il permet de disloquer le béton armé mais il reste souvent à couper les armatures au chalumeau.

Un Brise-roche Hydraulique (BRH), monté sur le bras d'une pelle hydraulique, frappe le béton à grandes cadences : le BRH est bruyant mais très puissant. Il est utile pour des travaux importants, en permettant de disloquer et de fragmenter des morceaux compacts d'une construction.



Pelle hydraulique équipée de marteau piqueur

- **Les éclateurs** comportent un cylindre, composé par exemple de deux demi-coquilles, qui peuvent grossir à l'aide de vérins. Ils agissent par expansion après avoir été introduits dans un trou forcé à l'avance. Ce procédé, économique et peu bruyant, est assez long à mettre en œuvre. Il est utilisé pour des démolitions ponctuelles.

7-RISQUES ET MESURES DE PREVENTION

Démolir et /ou modifier une structure, en créant des ouvertures dans les murs porteurs, des trémies dans les planchers, des saignées au droit des mitoyens, modifie, provisoirement ou définitivement, le cheminement des charges.

Pour éviter des effondrements inopinés, il faut assurer la stabilité de l'ouvrage durant les phases de démolition en :

- étrésillonnant des ouvertures
- contreventant les mitoyens
- étayant provisoirement, en cas de dépose partielle d'un plancher, par exemple. Les risques concernent :
 - le personnel du chantier,
 - les voisins et les usagers des voies publiques mitoyennes :

Les chutes de matériaux sur des emplacements accessibles au public en bordure du chantier nécessitent des mesures de protection.

Le port du casque et des chaussures de sécurité est indispensable pour toute personne pénétrant dans l'enceinte du chantier.

- **Projection de matériaux** : ne pas travailler à proximité d'une trémie d'évacuation pendant qu'on nettoie des planchers dans les étages supérieurs.
- **Effondrement non contrôlé de toute ou partie de la construction** : le risque est limité en évitant l'accumulation des gravats sur un plancher, en nettoyant régulièrement les zones de travail. Durant un effondrement partiel de la construction délibérément provoqué,

il faut momentanément interdire l'accès des lieux dans les parties restantes. Ainsi, il est interdit d'installer des cantonnements de chantier dans un bâtiment en cours de démolition ! Ils doivent au contraire s'en trouver éloignés.

- **Chute de hauteur d'un membre du personnel et/ou de matériaux** : - préférer les procédés ne demandant pas la présence en hauteur d'ouvriers. A défaut on prévoira :
 - Eviter les postes de travail superposés.
 - Protéger, baliser les zones de circulation et de stockage.



- Les trémies doivent être protégées. Chaque plancher doit être ceinturé par des garde-corps dès que les murs extérieurs ont été abattus.

8- IMPLANTATIONS DES OUVRAGES

Une fois réalisées les opérations de démolition, l'abattage, l'arrachage des souches (communément appelé dessouchage) et l'évacuation de la végétation située dans l'emprise de la construction (hormis celle dont il est précisé dans les pièces du marché qu'elle doit être protégée), puis le décapage de la terre végétale (sur environ 20 à 30 cm d'épaisseur sur l'emprise de la fouille) et sa mise en dépôt, il faut procéder à l'implantation des fouilles.

III- LES FOUILLES : TERMINOLOGIE, PENTE DES TALUS

1-TALUS

La **profondeur d'une fouille** (appelée aussi dénivelée d) est mesurée à partir du niveau du sol tel qu'il est livré pour l'exécution des fouilles, c'est-à-dire le terrain naturel (noté TN) ou bien encore, le niveau résultant de terrassements généraux, réalisés au préalable. **Les talus** sont les surfaces réglées et inclinées limitant latéralement un déblai ou un remblai. L'inclinaison est définie par le rapport sans dimension (t/d) de la longueur de la trace horizontale (t) de la ligne de plus grande pente à la valeur de la dénivelée (d) mesurée entre les extrémités de cette ligne.

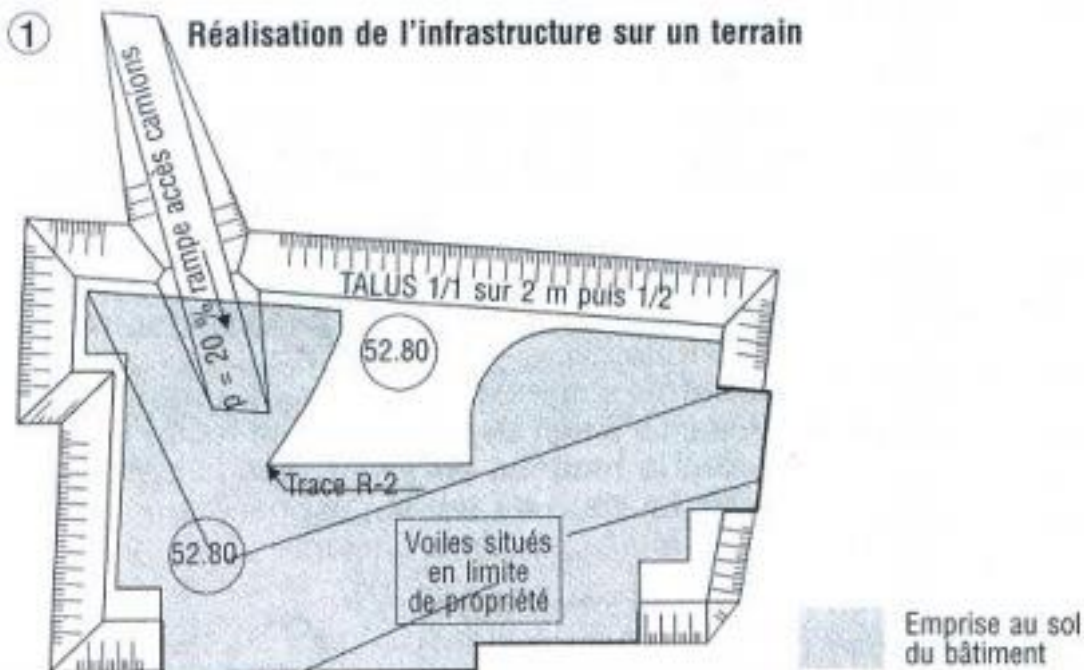
Ils doivent :

-être stables par tous les temps : prévoir un film plastique type polyéthylène (souvent dénommé « polyane ») pour les grandes pentes permettant de limiter les coulées de boues en fond de fouille lors d'orage violents.(Fig2)

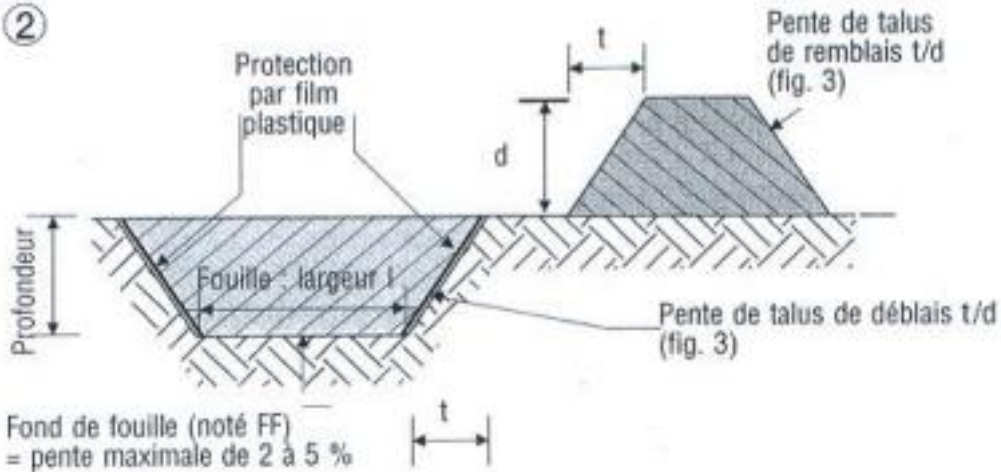
-se rapprocher le plus possible de la pente dite du « talus naturel », tout en étant souvent un peu plus raide en phase provisoire que dans le cas d'un talus définitif : le talus est exposé de façon limitée aux intempéries dans le cas d'une fouille de chantier.

La nature du sol, sa cohésion, sa granulométrie et la présence ou non d'eau sont des paramètres importants pour déterminer cette pente et plus généralement la stabilité d'une fouille.

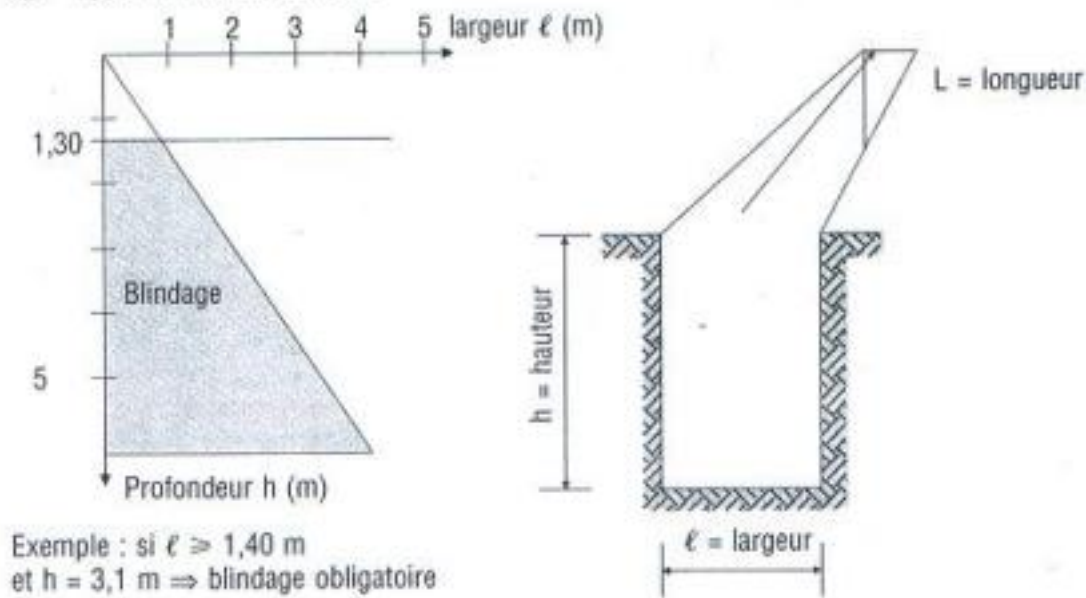
Si la fouille est étroite et profonde (Fig3), les parois latérales doivent être blindées.



②



③ Type de terrassement



Exemple : si $l \geq 1,40$ m
et $h = 3,1$ m \Rightarrow blindage obligatoire

Remarque

- les déblais (sol naturel en place) et les remblais (sol remanié et compacté) n'ont pas nécessairement la même pente.
- Les talus peuvent être réalisés par palier, en étant interrompus par des banquettes d'au moins 1m de large, pour briser le ruissellement de l'eau et permettre la circulation à des étages intermédiaires.
- La tête du talus est protégée par une bande libre de 1 à 2m de large, sur laquelle on ne prévoira pas de surcharges, circulations.....

2-CONDITIONS ATMOSPHERIQUES

Quand on se trouve en présence d'un terrain sensible à l'eau, marnes, schistes, argiles...), la finition d'un fond de fouille (noté FF) doit intervenir peu de temps avant l'exécution

des soutènements ou des fondations. Il faut couler, au moins, le béton de propreté dans les heures qui suivent la découverte du terrain, sous peine de voir les sols se détremper sous l'action de la pluie, éventuellement gonfler, se soulever dans certains cas.

3- MOYENS EMPLOYES

L'excavation est réalisée par les engins de production, qui chargent les engins de transport. Des engins d'assistance assurent la finition de la fouille ou la mise en place des remblais.

4-EXTRACTION DU SOL

· La nature du terrain à extraire détermine :

- ☆ L'excavation par couches successives, en augmentant l'évaporation superficielle, favorise l'extraction de sols humides : elle consiste à terrasser une fouille ou une emprise par enlèvements successifs de petites couches de terrain sur toute l'emprise.
- ☆ L'extraction frontale limite le détrempage des sols en périodes de pluies : il s'agit de terrasser une fouille ou une emprise sur toute la hauteur, en allant, dès le début, au fond de la fouille. La zone de terrain, exposée aux intempéries, en fond de fouille, est donc limitée.

- le choix des engins de production,
- le rendement de la production, (Fig4)
- la pente des talus.

5-UTILISATION DES DEBLAIS POUR UN REMBLAIEMENT

La facilité de pénétration des outils dans un sol est, pour un entrepreneur spécialisé dans les terrassements, la caractéristique principale à connaître lorsqu'il s'agit d'exécuter des terrassements. Cette caractéristique est bien entendu insuffisante ensuite, pour déterminer l'utilisation ultérieure, en remblais, des matériaux extraits.

Il convient de procéder à des études plus fines, notamment en s'appuyant sur des guides technique établi intitulé Réalisation des remblais et des couches de forme



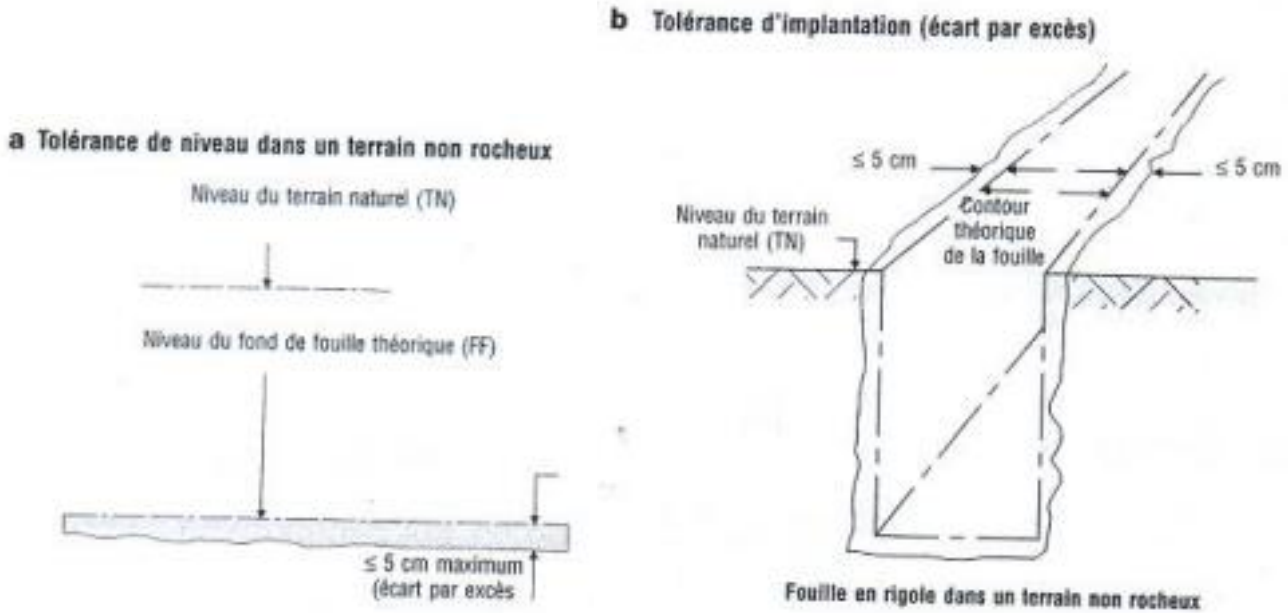
6- PRESCRIPTIONS PARTICULIERES CONCERNANT LES TOLERANCES D'EXECUTION

6-1- Dans les terrains non rocheux (Fig 5) :

- Tolérance de niveau : 5 cm.
- Tolérance d'implantation (écarts par excès seulement) :
 - * 10cm pour les fouilles en tranchée, en puits et en excavation superficielle,
 - * 5cm pour les fouilles en rigole.

· **L'excavation** avec des engins mécaniques doit s'arrêter par défaut, plus haut que la cote de fond prévue et à l'intérieur du tracé définitif des parois latérales, pour éviter l'ameublissement du fond et des parois par les griffes de l'engin. La finition du fond de fouille est faite manuellement.

Fig 5 :



6-

2- Dans les terrains rocheux

· **Les parois** doivent être purgées des blocs dont la résistance est douteuse.

· **Tolérances :**

- Aucune saillie n'est autorisée par rapport aux niveaux prescrits sous les fondations, mais des surprofondeurs locales de 10 cm sont autorisées dans le cas des roches. - Des surprofondeurs de 20 cm sont autorisées sous réserve d'être soigneusement comblées (éclats de pierre, sable) et damées pour reconstituer un sol plan au niveau fixé.

IV- ETAIEMENTS ET BLINDAGES : BLINDAGE MANUEL DES FOUILLES EN TRANCHEE

1. GENERALITES

Les fouilles pour bâtiments, en site urbain, nécessitent souvent des soutènements, provisoires ou définitifs, pour réduire l'emprise des talus, ou bien, en raison de mitoyennetés.

A l'arrière de ces ouvrages, les terrains retenus ou les bâtiments mitoyens exercent une poussée sur l'écran réalisé : Pour réaliser l'excavation en toute sécurité, il faut terrasser sans décompresser le sol derrière l'écran.

Il est parfois possible de creuser une tranchée verticalement jusqu'à sa profondeur finale, uniquement grâce à la cohésion à court terme du terrain, notée C_u . C_u représente la capacité d'un sol à s'opposer aux efforts de cisaillement, c'est-à-dire au glissement relatif d'une couche de terrain par rapport à une autre. Elle est essentiellement due à la présence d'eau dans le sol qui induit des forces de cohésion entre les grains du squelette. Ces actions sont d'autant plus importantes que la taille des particules du sol est petite : les argiles sont cohérentes tandis que le sable est pulvérulent. La cohésion C_u varie, dans le temps, en fonction des apports et possibilités de circulation de l'eau dans le sol, qui influent sur la teneur en eau du sol.

Il faut donc blinder, étré sillonner ou étayer la fouille si les parois sont quasi verticales.

2. SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES COURANTES

Cet ouvrage se limite aux solutions suivantes :

- le blindage manuel des fouilles en tranchées. Les blindages, à l'aide de cages métalliques, mis en place à l'aide d'engins type pelle hydraulique, ne sont pas abordés.
- le voile contre terre ou voile masque,
- la paroi berlinoise,
- la tranchée blindée à l'avancement,
- la reprise en sous-œuvre.

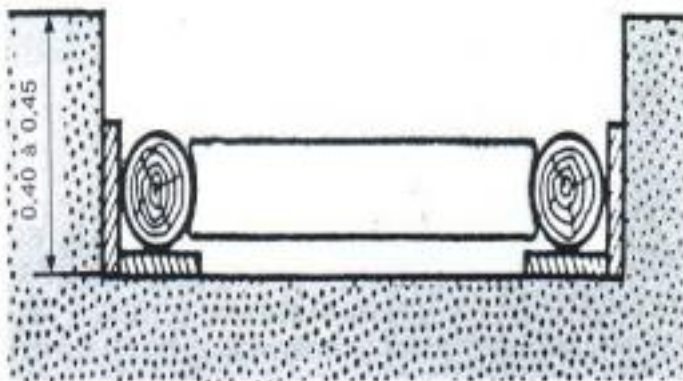
3. BLINDAGE MANUEL DES FOUILLES EN TRANCHEE PAR ENFILAGE DE PLANCHES VERTICALES

3-1. Amorce de la fouille et soutènement des bords proches du Terrain Naturel (TN)

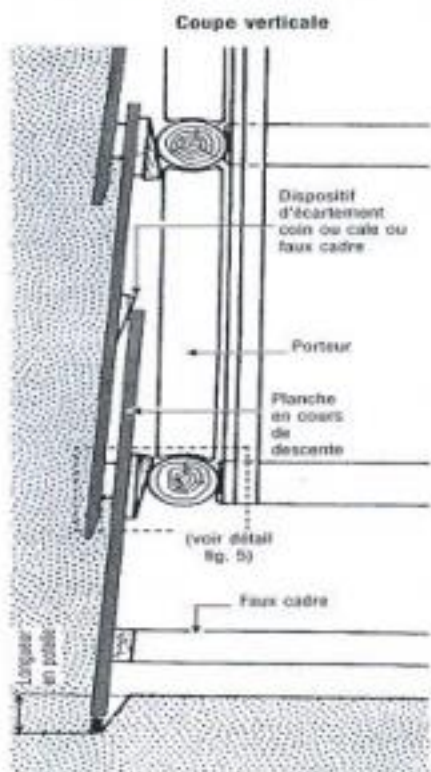
La tranchée est creusée sur une profondeur d'environ 30 à 50 cm. Un premier cadre horizontal est mis en place au sommet de la fouille (Fig 6).

L'excavation est poursuivie à l'abri d'un rideau de planches ($e=40\text{mm}$ mini, longueur $=2\text{m}$) que l'on enfonce au fur et à mesure que l'on creuse. Légèrement inclinées, ces planches s'appuient, en partie supérieure sur le cadre, et sont maintenues à leur base dans le terrain par une fiche d'environ 15 cm, qui forme butée. Un faux cadre permet de maintenir les planches à mi-hauteur des cadres (Fig7).

6 Pose de la longrine supérieure - Coupe verticale



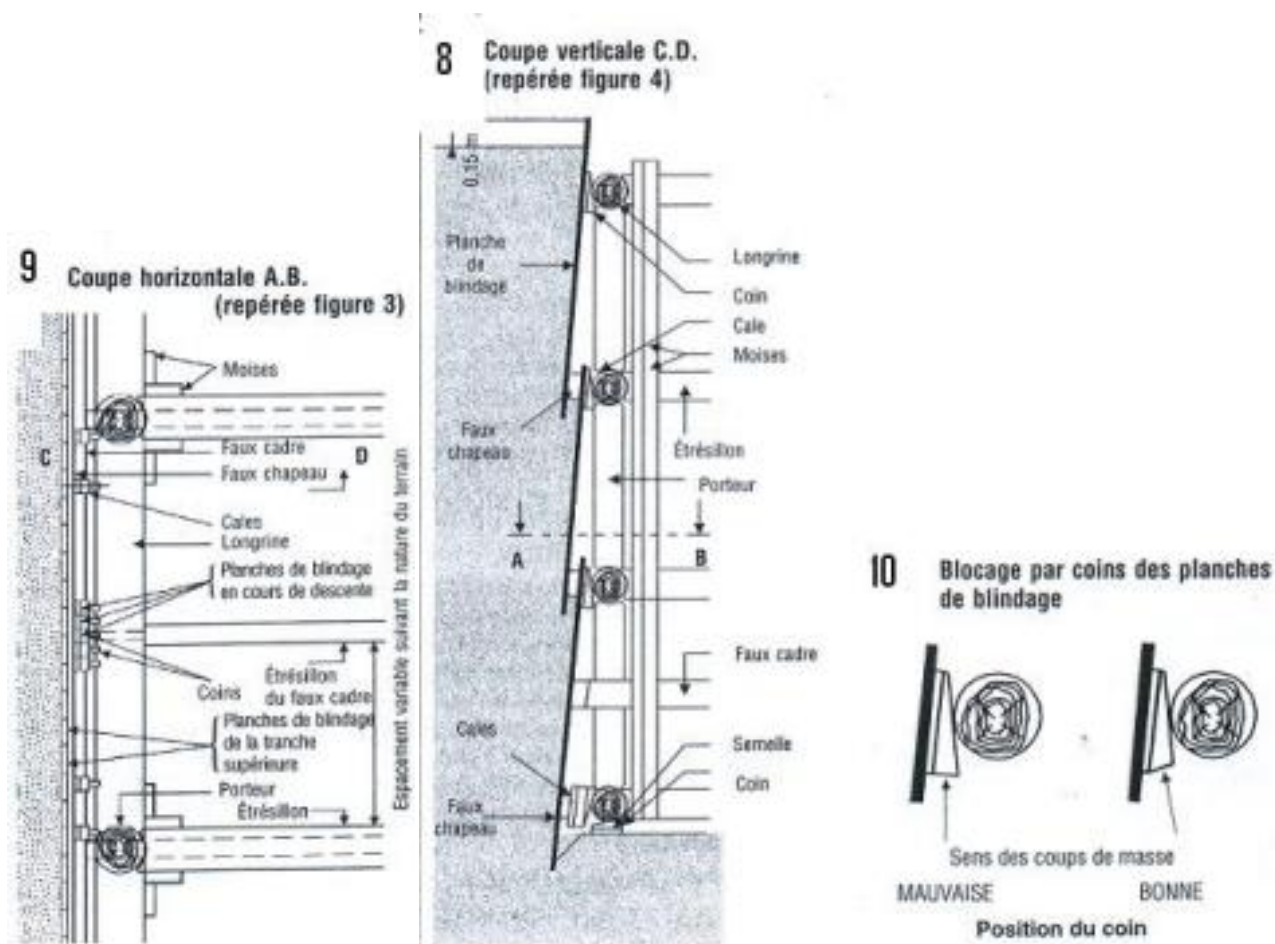
7 Descente des planches avec utilisation d'un faux cadre



3-2. Progression de l'excavation

Une fois les planches complètement enfoncées, un deuxième cadre est posé à l'aplomb du premier. Des cales et des coins, disposés entre la longrine de ce deuxième cadre et le rideau de planches, permettent de reprendre le creusement, en conservant le même principe. Ainsi, les parois excavées ne sont jamais découvertes et des profondeurs importantes peuvent être atteintes, même dans un sol sans cohésion, sans

aucune décompression du terrain. Ce procédé exige une main-d'œuvre qualifiée, habituée à ce type de réalisation. (Fig8,9 et 10).



4. VOILE CONTRE TERRE OU VOILE MASQUE

4-1. Réalisation par puits alternés avant exécution du terrassement en grande masse (trois niveaux maximum)

Des puits, blindés au fur et à mesure de la descente, sont ouverts à la limite de l'ouvrage à réaliser, en commençant de préférence par les puits situés dans les angles du bâtiment existant et en alternant (Fig11.a), pour s'assurer un fonctionnement mécanique provisoire en voûte de décharge. (Fig12)

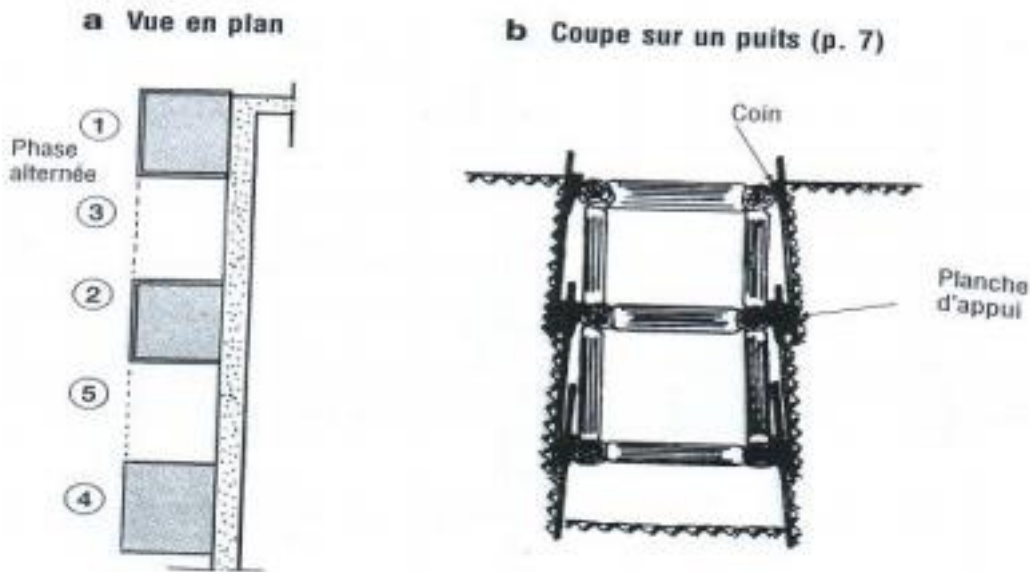
La paroi est bétonnée, par passe d'environ 2.50m de hauteur, soit en descendant, soit en remontant après avoir atteint le niveau désiré (Fig12). En descendant, on peut couler directement contre la terre si la surface bétonnée faible. En remontant, le blindage est abandonné au fond du coffrage.

Des armatures en attente, permettant la liaison avec la zone adjacente (continuité mécanique de la paroi), sont disposées sur le pourtour de la partie coulée : -soit repliées dans la partie bétonnée, pour être ensuite dépliées,

-soit fichées en terre et dégagées par la suite en retirant le terrain.

La totalité de la paroi étant réalisée, on peut faire intervenir les engins de terrassement pour excaver la fouille. Attention, les parois réalisées devront être maintenues par des butons, tant que la structure de l'ouvrage définitif ne sera pas apte à reprendre les efforts de poussée.

II. Voile contre terre par puits alternés



4-2. Réalisation par talus / banquette après exécution d'un terrassement en grande masse (deux niveaux maximum)

Une banquette talutée est réservée en avant de mur à reprendre (fig 13). De proche en proche, une tranchée blindée de faible largeur est alors réalisée, dans le talus, pour pouvoir couler un tronçon du mur contre terre (qui peut être réalisé en montant ou en descendant). On peut commencer l'infrastructure dans la zone centrale de l'emprise. Lorsqu'une passe est ouverte, on utilise les parties d'infrastructure déjà réalisées pour reprendre les efforts de poussée du voile extérieur.

6- TRANCHEE BLINDEE

Réalisé à l'intérieur d'une tranchée blindée, le mur est banché (Fig16) au fur et à mesure de l'avancement de la tranchée.

Généralement, on utilise des éléments modulaires manu portables de petites dimensions pour coffrer le voile (F16a à d).

Cette technique permet de terrasser sur des profondeurs relativement limitées (sauf si on prévoit le maintien des voiles par des tirants d'ancrages).

Très délicates à réaliser, l'exécution de ces tranchées est le plus souvent réservée à des entreprises spécialisées.

7-REPRISE EN SOUS-ŒUVRE

Elle consiste à réaliser sous le mur existant, en mitoyenneté, de nouvelles fondations, ayant le même niveau d'assise que le futur ouvrage. (Fig17)

Selon la profondeur, le type de sol et l'emprise du chantier, on adopte l'une des méthodes évoquées précédemment à l'exception de la paroi berlinoise.

A l'origine, une reprise en sous-œuvre était réalisée en maçonnerie de moellons. Le béton armé coulé en place est de plus en plus employé.

· Reprise en maçonnerie

On procède en remontant à partir du fond de l'excavation. Le blindage est abandonné dans le sol, contre la paroi. Un mortier est maté en tête entre le nouveau mur et l'ancienne fondation, pour éviter tout tassement de cette dernière, qui entraînerait des fissurations dans l'ouvrage existant. Il faut prévoir un harpage ou un chaînage pour assurer la liaison avec la future tranche de la reprise.

· **Reprise en béton armé**

Le coffrage est aménagé en partie supérieure. Une ouverture inclinée (appelée goulotte) permet de venir couler le béton entre la paroi et le coffrage. Le mur est donc réalisé en descendant. Des armatures en attentes sont prévues pour rétablir la continuité avec les tronçons adjacents.

V- LES FOUILLES : VENUES D'EAU

1. GENEALITES

Les constructions présentant plusieurs niveaux de sous-sols ont souvent leurs fondations, voire des niveaux de l'infrastructure, situées dans des terrains aquifères. La fouille devra donc être mise hors d'eau pour permettre une réalisation correcte, avec les moyens usuels, de ces ouvrages.

Cette opération peut être réalisée de plusieurs façons, la méthode adoptée dépendant de la nature du terrain et de la quantité d'eau à évacuer.

2. VENUE D'EAU UNIQUEMENT ACCIDENTELLE, DUE AUX INTEMPERIES (pas de nappe phréatique)

On réalise un simple drainage par des rigoles en fond de fouille qui convergent vers un puisard (Fig18). L'eau s'évacue par gravité dans les vides du sol. Des rigoles en crête de fouille recueillent les eaux de ruissellement extérieures et les évacuent suffisamment loin de la fouille.

3. FOND DE FOUILLE SOUS LE NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE Il faut donc continuellement évacuer l'eau en provenance de la nappe, en réalisant un rabattement de nappe.

3-1. Assèchement de la fouille à l'aide d'un fossé

L'eau, recueillie dans un fossé en fond de fouille, est collectée dans un puisard, surcreusé de 0.5 à 1m, puis évacuée par pompage (Fig 19).

Cette méthode simple est utilisée pour des fouilles de faibles profondeurs (3 à 4m). En effet, les parois étant saturées d'eau, les caractéristiques du sol s'en trouvent affectées. Il faut donc que la pente des talus soit plus faible que si le terrain était sec. Le fond de fouille constamment humide gêne le travail du personnel.

3-2. Rabattement de nappe

Il s'effectue par pompage, à l'intérieur d'éléments filtrants (Fig 20). Les pointes (technologie et dimensionnement) sont abordées.

· **Avantages**

- Stabilité du fond de fouille et des talus.
- Pente plus importante qu'en terrain sec.
- Fond de fouille sec, sans entraînement de matériaux.

○ **Domaine d'emploi**

- La perméabilité horizontale k_h (1) du sol est comprise entre 10^{-2} et 10^{-6} m/s. - Le terrain est faiblement hétérogène.
- Le rabattement est inférieur à 30m.
- La hauteur d'eau résiduelle au-dessus du substratum étanche, après rabattement, est supérieure à une valeur comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{6}$ de la hauteur d'eau avant rabattement. - Débit global jusqu'à $3\text{m}^3/\text{s}$.

3-2. Rabattement de nappe (suite)

3-2.1. Réseau de pointes filtrantes (50 à 80mm) (Fig 21a à c) :

· **Mise en œuvre**

Elles sont enfoncées dans le sol par lançage, c'est-à-dire par injection d'eau sous pression sortant à la base de la pointe munie d'un clapet. La pointe pénètre au fur et à mesure de l'évacuation et de l'extraction du terrain par le courant d'eau.

Les pointes sont reliées entre elles par un collecteur relié à une pompe sous vide. L'eau est aspirée en bas du tube, dans une partie crépinée (sur environ 1m à partir de la base du tube), ce qui a pour effet de fermer le clapet. Elle chemine ensuite dans la pointe. La hauteur d'aspiration est d'environ 8m et on peut alors espérer un rabattement de 6.50m. Si la hauteur à rabattre est supérieure, il faut implanter les pointes sur plusieurs étages. Le débit unitaire est de l'ordre de 0.15 l/s pour une pointe.

· **Pré dimensionnement rapide d'un réseau de pointe (Fig 22)**

· **Utilisation préconisée**

Pour des sols perméables (graviers, sables grossier), le nombre de pointes devient très vite important. On utilise donc ce procédé pour des sols de perméabilité moyenne à faible dans lesquels le lançage est possible : sables fins ou limons sableux, ayant un coefficient de perméabilité compris entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s.

3-2.2. Puits filtrants

· **Mise en œuvre**

Une crépine et un outil de pompage sont descendus dans un puits foré au préalable (400 à 600mm). Entre le tube crépiné (150 à 350 mm) et le forage, un massif filtrant (gravier) est constitué. Les puits sont espacés de quelques mètres jusqu'à une cinquantaine de mètres et leur profondeur varie entre 10 et 50 m. les pompes, généralement immergées au-delà de 6m d'aspiration, évacuent 1.5 à 110L/s (débit d'exhaure : 5 à 400m³/h)

· **Utilisation préconisée**

Cette méthode est utilisée quand on a de grands débits à évacuer, pour des sols de forte perméabilité (kh compris entre 10^{-2} et 10^{-4} m/s) : graviers, sables...

Le pompage est interrompu dès que la construction est suffisamment avancée pour équilibrer les poussées dues à l'eau.

3-2.3. Remarques

- **Si les solutions précédentes sont inadaptées**, il faut isoler la fouille en créant une barrière étanche par injection du fond de fouille et réalisation de parois latérales étanches (parois moulées....) détaillées dans le Précis de bâtiment,
- **Les couches de faible perméabilité** jouent le rôle de couches étanches vis-à-vis des autres (rapport des perméabilités supérieur ou égal à 10).
Ainsi, lorsqu'un horizon de graviers ($10^{-3} < k h < 10^{-4}$ m/s), on considéra le toit du sable comme le fond étanche :
 - Si le fond de fouille se trouve dans le sable fin, il faut prévoir un rabattement complémentaire et indépendant. De plus, cette couche ne sera atteinte qu'à l'abri d'un écran étanche.
 - Dans le cas contraire, il suffit de rabattre la nappe dans les graviers pour tout assécher (l'alimentation se fait par la couche la plus perméable)(Fig 21b).

VI- REMBLAIS ET COUCHES DE FORME (INFRASTRUCTURE ROUTIERE) : CLASSIFICATION DES SOLS

1. GENERALITES

Pour établir un projet de terrassement, il faut :

- connaître les matériaux concernés,
- disposer des classifications adaptées,
- connaître les conditions de réemplois en remblais des sols déplacés,
- prendre en compte les conditions climatiques locales,

-définir les procédures (matériels et techniques) de compactage.

· **Les paramètres à retenir sont :**

-la granularité caractérisée par la dimension D_{max} des plus gros éléments (conditionnant les matériels de mise en œuvre, les possibilités de traitements et d'amélioration), le pourcentage de tamisat à 2mm (passage d'une tendance sableuse à une tendance graveleuse).

- l'argilosité (pourcentage de tamisat à 80 μ m définissant la sensibilité à l'eau) caractérisée par :

☆ L'indice de plasticité I_p : limites d'Atterberg

☆ La valeur de bleu de méthylène VBS

Le comportement mécanique notamment caractérisé par :

☆ Le coefficient de Los Angeles (LA)

☆ Le micro-Deval en présence d'eau (MDE)

☆ Le coefficient de friabilité des sables (FS) : Ces essais sont détaillés lors de la présentation des caractéristiques mécaniques des granulats naturels pour le béton hydraulique.

- l'état hydrique caractéristique par :

☆ la position de la teneur en eau naturelle (W_n) par rapport à l'optimum Proctor (W_{opn}) (NF P94-093),

☆ l'indice de consistance I_c (NF P 94-051) : limites d'Atterberg,

☆ l'indice de portance immédiat IPI (indice CBR immédiat)