
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université TAHRI Mohamed, Béchar



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique

Polycopié Pédagogique de
- Cours -

Intitulé :

Organisation et mécanisation des travaux

Code de la Matière : MHUR M112

Niveau : Master 1 (S2)

Filière (s) et Spécialité (s) : Hydraulique, hydraulique urbaine

Etabli par l'Enseignante
Dr. SEDDIKI Sara

Année Universitaire : 2021/2022.

Avant propos

Ce document propose un cours du module intitulé «*Organisation et Mécanisation des travaux*» dédié aux étudiants en *Master 1*, Spécialité : «Hydraulique» Option : «hydraulique urbaine», comme il peut servir comme support pédagogique pour d'autres spécialités (Travaux Publics, Génie Civil...). L'objectif essentiel est d'acquérir les connaissances théoriques et pratiques nécessaires pour maîtriser les problèmes d'organisation et de planification de travaux dans des chantiers. L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisagées pour l'exécution dans les meilleures conditions possibles d'un travail pour abaisser les coûts de productions en favorisant à l'homme et à la machine un contexte favorable de façon à accroître la productivité.

Ce polycopié est une synthèse tirée de différents ouvrages en relation avec le thème. Il se présente conformément au programme officiel ; des définitions et des rappels sur les vocabulaires utilisés dans le jargon des chantiers, et des entreprises. Il s'intéresse par la suite aux aspects de préparation et d'installation de chantiers, commençant par les Travaux préparatoires d'installation, puis le choix et le dégagement des emprises de réalisation, puis Assainissement, protections hydrauliques et réseaux, la signalisations - soutènement et Piquetages - implantations. le Calendrier prévisionnel des travaux est introduit sous les différents aspects (GANTT et PERT) et Phasage d'exécution, puis aux Installations de Chantier proprement dites.

Puis on trouve des notions de terrassements et de types de canalisation ainsi que leurs assemblages. le dernier chapitre rappelle des notions élémentaires sur le bétons hydrauliques.

Enfin, mes hommages à tous ceux qui ont contribué indirectement à la réalisation de ce cours, sans oublier ceux qui me feront le plaisir de le consulter de l'enrichir.

SEDDIKI Sara

Sommaire

Chapitre 1 : Vocabulaires courants

Terminologie.....	1
Chantier.....	2
Maître d'œuvre et maître d'ouvrage, définitions et Différences.....	2
Contrats et volet juridique.....	4

Chapitre 2 : Installation de chantier

Travaux préparatoires.....	7
Dégagement des emprises.....	8
Assainissement, protections hydrauliques et réseaux.....	8
Signalisations – Soutènements.....	9
Piquetages et implantations.....	10
Calendrier prévisionnel des travaux.....	11
Phasage d'exécution.....	11
Installations de Chantier.....	12

Chapitre 3 : Terrassements

Terrassements généraux.....	13
Terrassements en masse.....	14
Terrassements en fouilles.....	14
Terrassements en rigoles.....	14
Terrassement en tranchée.....	15
Protections et blindages.....	17
Rabattement des nappes et drainage.....	20

Chapitre 4 : Pose de canalisations

Critères de choix des canalisations en fonction de la nature des terrains.....	22
Terrassements pour canalisations.....	23
Remblais pour canalisations.....	23
Manutentions des canalisations.....	24
Techniques de pose et d'assemblage.....	24
Essais d'étanchéité et réception des travaux.....	28
Contrôle de qualité.....	29

Chapitre 5 : Bétons hydrauliques

Indications générales.....	31
Consistance des bétons.....	32
Dosages et compositions.....	32
Résistance des bétons.....	34
Choix des matériaux de composition.....	34
Fabrication des bétons.....	37
Transport, manutention et ouvrabilité.....	37
Adjuvants.....	38
Essais et contrôles.....	40

CHAPITRE I

VOCABULAIRES COURANTS

Plan

I.1 Terminologie

I.2 Chantier

I.3 Maître d'œuvre et maître d'ouvrage, Définition et Différence

I.4 Contrat et volet Juridique

I.1 Terminologie

1. Ordonnancement

Organisation, planification et suivi des différentes étapes de fabrication d'un produit ou de construction d'un ouvrage. Mission souvent associée à la coordination et au pilotage.

Dans la plupart des cas, un projet de construction doit être réalisé dans un délai déterminé par le maître d'ouvrage en accord avec le maître d'œuvre.

Planning prévisionnel

Pour réaliser l'ouvrage prévu en respectant le délai contractuel, il est nécessaire d'organiser la coordination des différents intervenants, par l'établissement d'un planning prévisionnel de réalisation des travaux.

2. Coordination

Organiser (les différentes parties d'un ensemble) pour former un tout efficace ou harmonieux. → agencer, combiner, ordonner, organiser. Coordonner une chose à une autre, avec une autre.

Coordonner les travaux de différentes équipes.

Relier (des mots, des propositions) par une conjonction de coordination.

3. Pilotage de chantier

Le pilotage est l'acte décisionnel de management, Le pilotage d'un projet de construction se fait selon deux(02) niveaux :

- Niveau de décisions : la conduite de projet (Paramètres de projet).
- Niveau d'aide à la décision : la gestion de projet (Gestion de coût, Gestion des délais).

4. Télescopage des équipes de travail

Rassembler plusieurs équipes de travail dans un seul espace de travail.

Conséquences:

- gêne de déroulement des travaux
- perte de temps
- achevée d'aucune tâche.

I.2 Chantier

Définition

Un **chantier** est un espace sur lequel ont lieu des travaux de construction ou de démolition. Généralement fermé au public, il fait l'objet de mesures de sécurité telles que l'obligation de porter un casque.

Les chantiers importants nécessitent l'installation de zones de vie du chantier et la réalisation de pistes d'accès.

En marbrerie, le chantier désignait une table en pierre d'environ six pouces d'épaisseur, supportée par deux consoles, et sur laquelle on taillait et l'on polissait le marbre ; Un chantier volant désignait lui une petite pierre sur laquelle on scellait les petites pièces de marbre pour les tailler.

I.3 Maître d'œuvre et maître d'ouvrage, Définition et Différence

1 Le maître d'ouvrage :

Personne physique ou morale souvent appelé donneur d'ouvrage, client ou propriétaire et parfois le gestionnaire de projet, est celui qui lance et finance un projet en déterminant ses besoins et en choisissant le mode de réalisation qu'il entend utiliser pour exécuter tel projet. Il a généralement un rôle administratif.

Responsable principal de l'ouvrage, le Maître de l'Ouvrage remplit dans ce rôle une fonction d'intérêt général, dont il ne peut se démettre. Cet acteur conclut un ou plusieurs contrats, en vue de la réalisation de l'ouvrage dont il commande le déroulement. En Avant d'entreprendre la réalisation d'une opération, le maître d'ouvrage doit-il ainsi répondre à plusieurs obligations, notamment :

- Assurer la faisabilité et de l'opportunité de l'opération
- Déterminer la localisation de l'ouvrage
- Définir le programme
- Arrêter l'enveloppe financière prévisionnelle
- Assurer le financement, ~~ou en assure le financement,~~
- Choisir les procédures de consultation des maîtres d'œuvres et des entreprises,

- Décider des modalités selon lesquelles l'ouvrage sera réalisé,
- Passer les marchés d'études et de travaux nécessaires
- Prendre la livraison de l'ouvrage achevé,
- Assurer la maintenance de l'ouvrage...
- Toutes ces fonctions peuvent se résumer en une seule : **il prend le risque de l'opération sans jamais toutefois devoir s'immiscer dans l'opération.**

2 Le maître d'œuvre : Personne physique ou morale est le propriétaire ou la personne qui, sur un chantier de construction, a la responsabilité de l'exécution de l'ensemble des travaux. Le maître d'œuvre d'un chantier est celui qui détient la responsabilité réelle de l'exécution des travaux et qui exerce une autorité réelle sur le chantier. Il n'y a qu'un seul maître d'œuvre dans un projet et c'est à cette personne que se rapportent tous les intervenants travaillant sur un même projet.

Les fonctions du Maître d'œuvre sont les suivantes :

- S'assurer que le programme de l'opération est viable et réalisable, compatible avec le terrain mis à disposition tant sur le plan technique, administratif ou réglementaire ;
- S'assurer de l'adéquation budget disponible/programme ;
- Concevoir, représenter, décrire, et évaluer l'ouvrage (plans, dessins, devis, spécifications techniques,...) dans le respect de la réglementation en vigueur ;
- Coordonner les études techniques complémentaires nécessaires à la réalisation de l'ouvrage ;
- Introduire les demandes d'autorisations administratives - tel que le permis de construire - dans le respect de la réglementation en vigueur ;
- Rechercher et proposer les moyens de produire l'ouvrage – consultations des entreprises et proposition d'un choix d'entreprise ;
- Préparer les marchés à passer par le Maître de l'ouvrage ;
- Diriger les travaux conformément aux documents du marché, à la réglementation en vigueur, et dans le respect du budget et des délais impartis ;
- Contrôler la conformité de l'ouvrage au projet ;
- Contrôler la qualité et la quantité des matériaux, ainsi que la mise en œuvre ;
- Contrôler le coût des travaux ;

-Proposer des versements d'acomptes, ainsi que les paiements aux entrepreneurs et fournisseurs ;

-Assister le Maître de l'ouvrage lors des opérations de réception.

La Maîtrise d'œuvre peut être assurée directement par le Maître de l'ouvrage dès lors qu'il dispose d'un service technique intégré.

3 L'entreprise : Personne physique ou morale titulaire des travaux conclus avec le maître d'ouvrage. L'entrepreneur a l'obligation d'exécuter les travaux selon les plans et les devis. Il doit aussi :

- Respecter les délais;
- Réaliser un ouvrage de qualité par le contrôle de la qualité de son travail et par l'enregistrement de ses données «qualité », dans le respect de ses obligations contractuelles;
- Gérer les coûts, les échéanciers et assurer la qualité du travail de ses sous-traitants et de ses fournisseurs;
- Gérer les travaux;
- Répondre aux obligations établies par les documents contractuels;
- Réaliser les travaux définis dans son contrat;
- Assurer l'intégrité et la sécurité de l'ouvrage et de son environnement lorsque les travaux sont effectués.

I.4- Contrat et volet Juridique

1 Définition : Les marchés publics sont des contrats écrits au sens de la législation en vigueur passés, à titre onéreux, avec des opérateurs économiques, dans les conditions prévues dans le décret 15-247 du 16 septembre 2015 portant réglementation des marchés publics et des délégations de service public, pour répondre à des besoins du service contractant, en matière de travaux, de fournitures, de services et d'étude.

Les marchés publics ne sont valables et définitifs qu'après leur approbation par l'autorité compétente à savoir :

- Le responsable de l'institution publique
- Le ministre
- Le Wali
- Le P.APC
- Le DG ou directeur d'établissement publique

Code des Marchés

Art 28 : - En vue de la satisfaction d'un besoin déterminé de fonctionnement ou d'investissement, le service contractant peut passer un ou plusieurs marchés publics.

Art 29 : - Les marchés publics portent sur une ou plusieurs des opérations suivantes :

- La réalisation de travaux ;
- L'acquisition de fournitures ;
- La réalisation d'études ;
- La prestation de services.

Le marché public de travaux a pour objet la réalisation d'un ouvrage ou des travaux de bâtiments ou de génie civil, par un entrepreneur, dans le respect des besoins déterminés par le service contractant, maître de l'ouvrage.

*Un ouvrage est un ensemble de travaux de bâtiment, génie civil d'hydraulique ou de travaux publics, dont le résultat remplit une fonction économique ou technique.

1/- Le marché public de travaux englobe :

-La construction - la rénovation – l'entretien – la réhabilitation – l'aménagement – la restauration – la réparation – le confortement – la démolition d'un ouvrage ou partie de l'ouvrage.

2/ - Le marché public de fournitures a pour objet :

-La location ou la location-vente avec ou sans option d'achat, par le service contractant, de matériels ou de produits quel que soit leur forme, destinés à satisfaire les besoins liés à son activité, auprès d'un fournisseur.

3/ - Le marché public d'études a pour objet de réaliser des prestations intellectuelles. Le marché public d'études recouvre notamment les missions de contrôle technique ou géotechnique, de maîtrise d'œuvre et d'assistance au maître de l'ouvrage.

Le marché public de maîtrise d'œuvre, dans le cadre de la réalisation d'un ouvrage, d'un projet urbain ou paysager, comporte l'exécution des missions suivantes :

- Les études préliminaires, de diagnostic ou d'esquisse ;
- Les études d'avant-projets sommaires et détaillés ;
- Les études de projets ;
- Les études d'exécution ou, lorsque c'est l'entrepreneur qui les effectue, leur visa ;???
- L'assistance du maître d'ouvrage dans la passation, la direction de l'exécution, la coordination et le pilotage du chantier, et la réception des travaux.

4/ - Le marché public de services, conclu avec un prestataire de service, a pour objet de réaliser des prestations de services.

2 De la passation des marchés publics :

Art. 39 – Les marchés publics sont passés selon la procédure « d'Appel d'Offres », qui constitue la règle générale, ou la procédure de « gré à gré ».

Art. 40 – L'Appel d'Offres est la procédure visant à obtenir des offres de plusieurs soumissionnaires entrant en concurrence et à attribuer le marché, sans négociation, au soumissionnaire présentant l'offre jugée économiquement la plus avantageuse sur la base de critères de choix objectifs, établis préalablement au lancement de la procédure.

- Le gré à gré est la procédure d'attribution d'un marché à un partenaire contractant sans appel formel à la concurrence.

Art. 42 – L'Appel d'Offres peut être national et/ou international, il peut se faire sous l'une des formes suivantes :

- L'Appel d'Offres ouvert ;
- L'Appel d'Offres ouvert avec exigence de capacités minimales ;
- L'Appel d'Offres restreint ;
- Le concours.

CHAPITRE II

INSTALLATION DE CHANTIER

Plan

- II .1. Travaux préparatoires
 - II .2. Dégagement des emprises
 - II .3. Protection hydraulique des réseaux
 - II .4. Signalisations – Soutènements
 - II .5. Piquetage et implantation
 - II .6. Calendrier prévisionnel des travaux
 - II .7. Phase d'exécution du projet
 - II .8. Installations de chantier
-

II .1. Travaux préparatoires

Ce chapitre « Installation de chantier » vous permettra de distinguer les mécanismes fondamentaux de l'organisation du déroulement des travaux du chantier,

- D'Ordonner le chantier : - Gain de temps, - Évite les pertes (matériaux) et double emplois (matériels), - Améliore la sécurité : humaine + matériel et Améliore la qualité.
- De Positionner les éléments : - Organiser les déplacements des engins et des véhicules dans le chantier - Bien positionner les livraisons - Positionner les réseaux en utilisant des grillages avertisseurs et des bandes de couleurs normalisées

L'étude relative à l'organisation d'un chantier, quelle que soit son importance est une technique utile et bien précise tendant à assurer l'exécution des travaux dans les meilleurs délais avec le moindre coût. Donc en vue de la bonne organisation d'un travail, on cherche à le rendre plus économique, de bonne qualité et les délais les plus brefs possibles (3)

➤ **Reconnaissance des sols**

L'objectif de la compagnie de reconnaissance des sols sont multiples :

- a) Au stade de l'étude : la compagnie de reconnaissance des sols est lancée pour répondre aux trois objectifs suivants :
 - Ebaucher un schéma directeur en tenant compte des aléas des sols ;
 - Construire un ouvrage sur un terrain, permettre d'établir un dossier de faisabilité le plus proche de la réalité ;
 - Rechercher des terrains adaptés à l'implantation de l'ouvrage.

b) Au stade de l'avancement de l'étude :

L'objectif de la compagnie de reconnaissance des sols est différents, elle est caractérisée par :

- ✓ Le maillage des points de sondage, enquête in-situ ou essais de laboratoires ;
- ✓ Relevé des niveaux des différentes couches rencontrées avec leurs épaisseurs ;
- ✓ Relevé le niveau d'arrivée d'eau éventuelle ;
- ✓ Elaboration le plan de démolition dans le cas des aménagements existants.

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

- L'enlèvement des cloisonnements légers, des équipements techniques.
- Démolition des gros œuvres, pour un étage donnée, à partir du haut, en commençant par les murs pour finir par les planches.

Pour le cas des tranchées, avant sont ouvertures :

- Assurer une reconnaissance du terrain « nature du sol, profondeur de la nappe ».
- Déterminer l'emplacement des réseaux existants (eau, gaz, électricité...), pour cela effectué une déclaration d'intention de commencement de travaux auprès des services concernés.

II .2. Dégagement des emprises

Avant de lancer les travaux, il faut d'abord préparer le terrain. L'étape de dégagement des emprises concernait le débroussaillage, les démolitions (clôtures, murs ...) et la pose des clôtures provisoires avant de mettre en place les installations de chantier et de lancer la réalisation des travaux. Elle consiste aussi :

- Abattage- élagage ;
- Abattage des arbres délicats par démontage ;
- Dessouchage et broyage de souches ;
- Broyage des rémanents d'exploitation ;
- Broyage des taillis, des broussailles et des haies ;
- Broyage de végétaux de tout diamètre ;
- Traitement des arbres à fort enjeux environnementaux (3)

II .3. Protection hydraulique des réseaux

Toutes les pièces susceptibles d'être corrodées par le contact avec le sol sont soigneusement enrobées au moins par deux épaisseurs d'une bande spéciale anticorrosive. Quel que soit le genre de tuyau, ce procédé est d'application pour les brides, boulons, les écrous et les tirants ainsi que pour les colliers des prises en charge (1)

❖ Pour le cas des canalisations en acier

La protection cathodique est appliquée complémentirement à toute installation comportant un revêtement externe.(1)

II .4. Signalisations – Soutènements

Un panneau obligatoire, lisible de la voie, détail les informations du permis de construire (objet de projet, maitre d'œuvre, date du permis, superficie de terrain ...ainsi que le nom des différents intervenants travaillant sur le chantier. Les panneaux sont installés aux bords des chantiers pour avertir les piétons et les automobiles des dangers éventuels.

Il est nécessaire de bien parler des murs de soutènements, rideaux de palplanches ou les parois moulées pour la préservation des talus ou autres (lors de la création des remblais par exemple), face aux éventuels éboulements ou glissements.

Un mur de soutènement peut être fait d'acier, de béton armé, de briques, de pierres sèches, en gabion, de moellons et parfois même ou de bois. Il doit être solide et réalisé dans les règles de l'art pour assurer sa fonction première : soutenir la matière et/ou protéger.

Avant de sa construction, il faut :

Système de drainage efficace, les matériaux sont de bonnes qualités, bonne réalisation des fondations et une étude du sol très approfondie (4)

❖ Notion de Talus

Les talus sont des surfaces réglées et inclinées limitant latéralement un déblai ou un remblai. L'inclinaison est définie par le rapport sans dimension de la longueur de la trace horizontale de la ligne la plus grande pente à la valeur du dénivelé mesurée entre les extrémités de cette ligne.

II .5. Piquetage et implantation

Un ouvrage est défini par des plans et des coupes. Avant de passer à l'exécution des plans, il faut implanter l'ouvrage sur le terrain c'est-à-dire matérialisé par des piquets.

L'objet de piquetage est de matérialiser sur le terrain le tracé en plan et en profondeur des canalisations et autre ouvrages de génie civil à construire.

Le piquetage doit être effectué en accord avec le terrassier, bureau d'études, le maître de l'ouvrage et/ou maître d'œuvre.

Pour mieux éviter tous litiges, l'entrepreneur doit assister à l'opération de piquetage, et lui demander de vérifier sur place les axes, les repères et les bornes avec exactitude. Dès fois la consultation des propriétaires voisins est obligatoire, car, il n'est pas admet de réclamer ultérieurement.

Pour mieux se rendre compte de l'effet final lié à l'implantation, on peut tracer au sol le pourtour et la disposition des principales ouvertures en utilisant du plâtre en poudre ou en tendant des ficelles entre les piquets plantés dans les angles de références.

Le piquetage est assemblé et rattaché en plan et en altitude dont les bornes sont numérotées.

Ses repères fixes, sont constitués par des bornes en pierres ou en béton fixés solidement.

Il existe deux types de piquetages : principal et secondaire. Le principal définit les axes principaux et les secondaires dite aussi complémentaire qui défini les bornes.

Un procès-verbal de l'opération est dressé par le maître d'œuvre et notifié par ordre de service au titulaire d marché(3)

II .6. Calendrier prévisionnel des travaux

L'établissement du planning des travaux est un travail très délicat, il consiste à rechercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie des mains d'œuvres et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action d'entreprise.

La planification est établie sur la base du calendrier contractuel des travaux inclus dans les pièces du marché.

A la demande de l'organisme de coordination, chaque entreprise possède au découpage du marché global en tâches et lots élémentaires, dont la durée de réalisation est parfaitement définie.

La mission du concepteur planificateur est :

- 1- Assurer l'achèvement des tâches dans les meilleurs délais et dans les meilleures conditions techniques et économiques.
- 2- Atteindre tous les objectifs contractuels avec le maître de l'ouvrage et dans les ordres corrects du marché.

L'enchaînement chronologique des différentes phases pour un chantier quelconque correspond grosso modo un ensemble des opérations dont les successions sont les suivantes :

- 1- Travaux préparatoires : installation du chantier ;
- 2- Implantation de l'ouvrage ;

Lors de l'exécution des plans à grande échelle nécessaire pour l'étude de l'ouvrage, il est prévu la mise en place d'une infrastructure topographique de base.

- 3- Exécution de l'ouvrage.

Le programme d'exécution des travaux devra être rigoureusement respecté tout au long du chantier.

Le planning des travaux, il permet de faire une évaluation du temps de chaque tâche élémentaire avec de la présence des engins mécaniques pour que ce temps soit minimum.

Il est nécessaire de suivre d'une manière précise l'avancement des travaux afin de comparer aux prévisions et de prendre toutes décisions utiles, en particulier en cas de retard.

D'autre part, on peut avoir commis des erreurs en établissant le planning, il peut se produire des circonstances fortuites des accidents.

Tous facteurs susceptibles de provoquer les retards. Pour cette raison, il est indispensable d'être au courant de l'état d'avancement exact des travaux afin d'être en mesure de renforcer les équipes attardées.

Le contrôle des travaux consiste en l'établissement d'un état d'avancement dont le principe est analogue à celui du planning (4)

II.6.1 Le diagramme de GANTT

Le diagramme de GANTT est la technique et représentation graphique permettant de renseigner et situer dans le temps les phases, activités, tâches et ressources du projet.

En ligne, on liste les tâches et en colonne les jours, semaines ou mois. Les tâches sont représentées par des barres dont la longueur est proportionnelle à la durée estimée.

Les tâches peuvent se succéder ou se réaliser en parallèle entièrement ou partiellement.

Ce diagramme a été conçu par un certain Henry L. GANTT (en 1917) et est encore aujourd'hui la représentation la plus utilisée (18).

II .6.2 La technique PERT

La technique PERT est une technique américaine de modélisation de projet qui vient de l'américain Program Evaluation and Review Technique, ou technique d'évaluation et de révision de Programme. Elle consiste à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leurs dépendances et à leur chronologie permettent d'avoir un produit fini.

Les Caractéristiques de PERT sont les suivantes :

Les tâches sont représentées par des flèches

Le réseau visualise des dépendances entre tâches

Limites de la technique PERT : pas de représentation de notion de durée et de date (18) .

II .7. Phase d'exécution du projet

Avant de se lancer dans la réalisation de l'ouvrage, il est nécessaire de prendre le temps de découper le projet en tâches afin de planifier l'exécution de ces tâches et de définir les ressources à mobiliser. L'étape d'exécution de l'ouvrage est de la responsabilisée de l'entreprise de réalisation avec le maître d'œuvre, sous le contrôle du maître d'ouvrage. Lorsde la réalisation

de l'ouvrage, l'accent doit être mis sur la communication afin de pouvoir prendre les décisions au plus vite en cas de problème.

Pour élaborer un planning, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre de données telle que :

- Décomposition des ouvrages en tâche élémentaire ;
- La durée des tâches (suivie sur terrain la réalisation des tâches, questionner les intervenants, chronométrer la durée des différentes tâches, sortir des ratios ;
- Tenir compte des conditions de travail : matériels mis en œuvre, tâches, répétitives ou pas, composition de l'équipe, lieu de l'exécution et contraintes d'exécutions ;
- Ces données seront tenues à jours et vérifiées de temps en temps (3)

II .8. Installations de chantier

Les installations d'un chantier sont destinées :

- ❖ Aux personnels ;
- ❖ Aux stockages des matériaux ;
- ❖ Aux entretiens et la réparation des engins mécaniques et à la préfabrication de certains éléments des ouvrages à construire.

Le plan d'installation de chantier est établi à partir de plan de masse, il définit le matériel nécessaire pour réaliser les ouvrages et différents espaces pour diverses activités du personnel de chantier.

Parmi les principaux objectifs d'une installation du chantier sont :

- 1- organiser le déroulement de chantier ;
 - 2- ordonner le chantier ;
 - 3- positionner les éléments humains et matériels ;
- 4- meilleure utilisation des espaces disponibles notamment aux zones urbaines.

Chapitre III

TERRASSEMENT

Plan

- III .1. Définitions de terrassement
 - III .2. Terrassement généraux
 - III.3 Terrassements en masse
 - III.4 Terrassement en fouille
 - III.5 Terrassement en rigole
 - III.6 Terrassement en tranchées.
 - III.7- Protection et Blindages des fouilles
 - III.8 Rabattement des nappes et drainages
-

Pour construire un ouvrage, quel qu'il soit ou une pose de conduite, 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 la forme. L'ensemble de ces opérations s'appelle "le terrassement"

III.1- Définitions de terrassement

D'une façon générale, tout mouvement de terres (remblais ou déblais) constituent un terrassement.

Creuser une fouille, une rigole ou généralement modifier le relief du sol représente en soi des terrassements.

Le terrassement se constitue de plusieurs étapes :

Décapage des terres : on extrait temporairement la terre végétale sur une profondeur de 25 cm environ. Cette opération peut être réalisée manuellement pour les chantiers de moindre importance ou à l'aide d'engins mécaniques (engins de nivellement, pelleteuses, etc.).

Les déblais : ils désignent l'ensemble des terres dégagées lors des opérations de terrassements pour la création de canalisations, de fondations. Ces terres peuvent être soit réutilisées en remblais, ou le cas échéant elles sont évacuées du chantier.

Les remblais : ce sont les terres prélevées et transportées en vue de combler les cavités telles que les tranchées.

III.2 Terrassement généraux

Les terrassements généraux sont souvent des travaux intéressants qu'il s'agit de la mise en place du relief en général et ne nécessite pas d'une manière générale des procédés spéciaux (préparation des zones d'implantation d'usines...)

Les travaux de terrassements sont généralement procédés par des opérations d'implantations et de piquetage destinés à matérialiser les mouvements de terre en fonction des nivellements définitifs à obtenir.

III.3 Terrassements en masse

Appeler aussi fouilles en excavation, intéressent une plus grande étendue, est une plus grande masse de terre et concerne souvent toute l'emprise de l'ouvrage, elles ont une largeur de plus de deux mètres mais leur profondeur ne dépasse pas la moitié de la largeur.

Lorsque la largeur « L » et la profondeur « P » satisfont aux conditions :

$$L \geq 2 \text{ m et } P \leq 1/2 \text{ m}$$



Figure III.1 terrassement en masse (19)

III.4 Terrassement en fouille

Il doit les dispositions techniques pour éviter tout effondrement et assurer la sécurité du personnel. A cet effet, il peut taluter la fouille, l'étayer ou la blinder suivant les circonstances.

La fouille : c'est une excavation réalisée dans le sol, pour y établir les fondations d'une construction ou pour poser des canalisations.

Le fond de fouille : désigne le niveau le plus bas où s'arrête l'excavation.

III.5 Terrassement en rigole

Elles correspondent aux semelles filantes (fondations sous les murs et les voiles de l'ouvrage). Est la fouille la plus simple peu profonde $P \leq 1\text{ m}$ et de largeur $L \leq 2\text{ m}$ elle est destinée à recevoir des fondations ou certaines canalisations.

III.6 Terrassement en tranchées.

Elles sont réalisées en général pour la pose de canalisations. Les fouilles des tranchées ayant plus de 1.3 m de profondeur ne peuvent être exécutées qu'avec des parois talutées ou des parois verticales blindées. L'angle de talutage doit tenir compte de la nature du terrain.

Lorsqu'une tranchée est ouverte dans un terrain de culture ou une prairie, la terre végétale est déposée à part sur le chantier. Si la tranchée est ouverte sous la voie publique, l'emprise de la tranchée est découpée avec soin jusqu'au niveau de la fondation sans dégradation des parties voisines. Si la tranchée est ouverte dans un terrain boisé, il est procédé au responsable chargé de la réalisation au débroussaillage des végétaux. b) La largeur de la tranchée doit être en tout point suffisante pour qu'il soit aisé d'y placer les tuyaux et les raccords. Si la tranchée est prévue pour recevoir plusieurs canalisations, la largeur au fond entre blindage est au moins égale à la somme des diamètres extérieurs des canalisations augmentée de 0.6 m (20)

Les terrassements en : RIGOLLES 1, TRANCHEE / PUIS 2, EXCAVATION 3

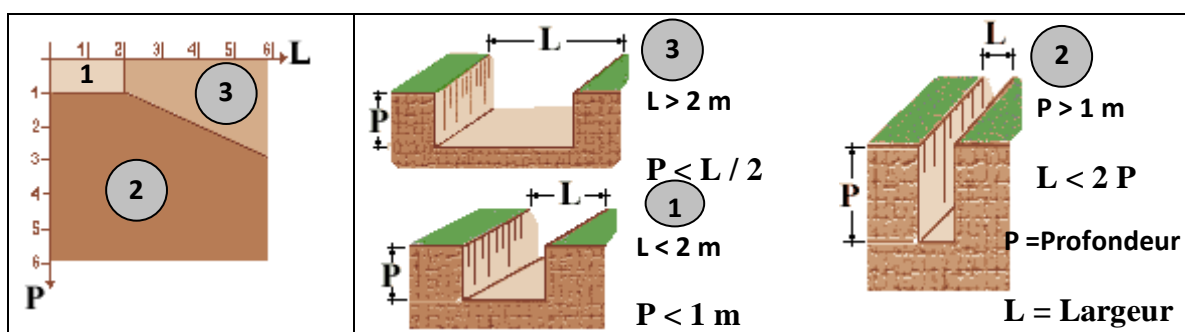


Figure III.2 les différents types des fouilles (21)

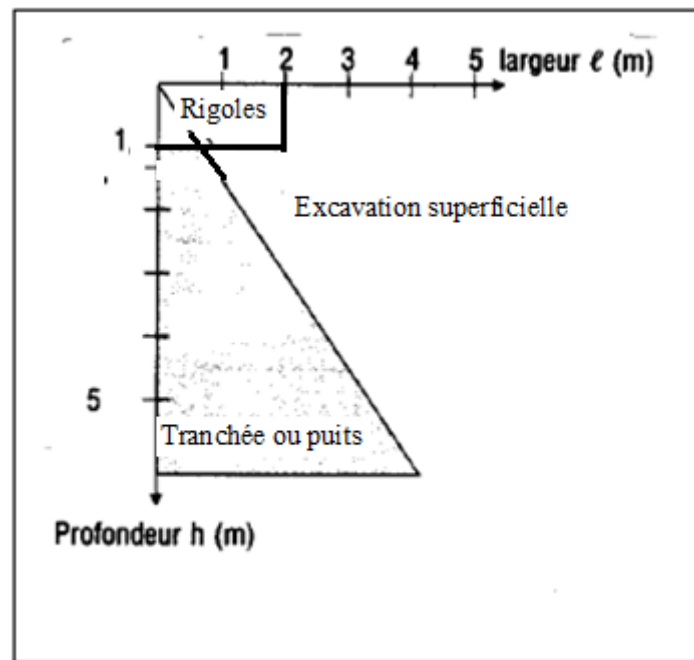


Figure III.3 Graphique de classification des fouilles (21)

III.6.1- Foisonnement :

Problème du foisonnement.

• Les différents types de volumes.

- Lorsque l'on creuse en trou dans le sol, le volume apparent des déblais est supérieur au volume du trou.
- Si l'on remet les déblais en place et après compactage, l'on constate un excédent de matériaux.

Ce phénomène de décompression des terres est appelé "foisonnement".

Terrain	Foisonnement	
Argile, limon, sable argileux	1.25	
Grave et sable graveleux	1.10	
Sols rocheux altérés	1.30	
Sol meuble	1.35	

III.6.2- Notions de déblais et remblais.

- Le déblai consiste à enlever des terres

- Le remblai à apporter des terres

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

Etat initial en place Volume en place => V_p

Etat foisonné Volume foisonné => V_f

Etat reconstitué (compacté) Volume reconstitué => V_r

- Le coefficient de foisonnement (C_f) : permet d'évaluer le volume apparent foisonné (V_f) d'un terrain déplacé en fonction du volume en place (V_p) :

$$V_f = C_f * V_p$$

- Le coefficient de compactage (C_c) : 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) :

$$V_r = C_c * V_f$$

- 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 donc onéreux. Autre relation, on trouve que

$$V_r = V_p * C_f * C_c$$

- ($C_f \times C_c$) est appelé le coefficient de foisonnement résiduel : (C_{fr}) Alors

$$V_r = V_p * C_{fr}$$

III.7- Protection et Blindages des fouilles

De nombreux procédés de blindage existent actuellement; il est, en conséquence, judicieux qu'une étude avant de démarrer les travaux afin de faire un choix conciliant à la fois la rentabilité et la sécurité des travailleurs. La mise en place des parois du blindage devra suivre au plus près l'avancement des travaux .

Blindage Par Panneaux Préfabriquées En Bois

Des panneaux en planches d'une hauteur légèrement supérieure à la profondeur de la tranchée sont fabriqués au sol, descendus au fond de la fouille en les faisant glisser sur une perche, puis plaqués contre les parois. A l'aide d'une corde, on place les étrépillons provisoires, puis les ouvriers descendent dans la tranchée et bloquent les panneaux avec des étrépillons définitifs.(5)

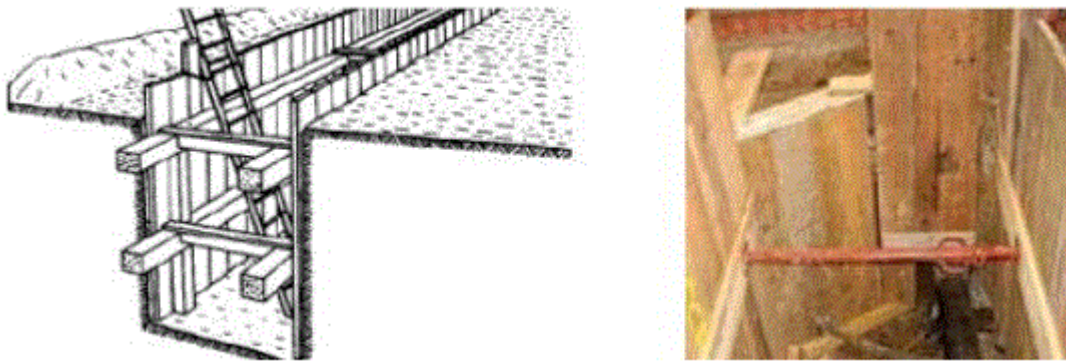


Figure III.4 BLINDAGE PAR PANNEAUX PREFABRIQUES EN BOIS (5)

BLINDAGE PAR CAISSON

Les caissons en bois ou en métal sont constitués de deux panneaux latéraux très résistants reliés entre eux par des vérins à vis ou hydrauliques. Ils sont descendus complets au fond de la fouille à l'aide d'un engin d'élevage. Les ouvriers peuvent dès lors descendre en fond de fouille pour bloquer les parois contre le terrain en manœuvrant les vérins. Cette technique est la plus employée sur les chantiers de pose de canalisations d'eau.(5)

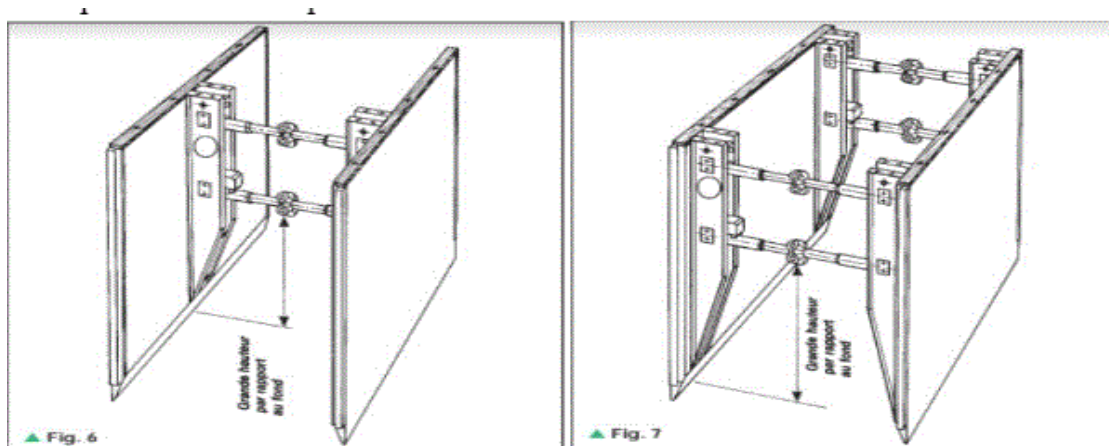


Figure III. 5 BLINDAGE PAR CAISSON (5)

BLINDAGE PAR PLANCHES VERTICALES DES FOUILLES EXECUTEES Manuellement

Dans les terrains sans cohésion, il est impossible de creuser une fouille sur une profondeur supérieure à quelques dizaines de centimètres sans qu'un éboulement se produise.

Le blindage doit donc suivre rigoureusement le creusement et être jointif. Pour sa mise en place, on construit un cadre qui est positionné en partie supérieure et sur lequel les planches vont s'appuyer. Celles-ci sont ensuite enfoncées au fur et à mesure que le creusement progresse, leur extrémité biseautée précédant toujours le creusement d'un dizaine de centimètres, les parois de la fouille ne sont donc jamais découvertes.

Lorsque les planches sont complètement enfoncées, un autre cadre est placé à la partie inférieure et l'on recommence l'opération. Ce mode de blindage, délicat à exécuter, est également employé en milieu urbain où les travaux sont exécutés à proximité d'immeubles qui transmettent des contraintes dans un sol où aucune décompression ne peut être tolérée. En mauvais terrain, le blindage par caissons métalliques ou par battage de palplanches peut également être utilisé.

Les caissons métalliques se mettent alors en place par havage, c'est-à-dire qu'ils s'enfoncent dans le sol au fur et à mesure que le creusement progresse.(5)

Le creusement d'une fouille sans blindage n'est pas toujours possible. Surtout si sa profondeur dépasse une certaine hauteur critique au-delà de laquelle les parois de cette dernière s'effondreraient.

D'une manière générale la profondeur critique est déterminée par la formule suivante :

$$C_{\text{critique}} = \frac{(\pi + 2) * c}{\gamma}$$

Avec « c » la cohésion du sol et γ Poids volumique du sol

Avant toute intervention, il est nécessaire de procéder au piquetage de la zone concernée par travaux ; la manière selon laquelle sont exécutés les travaux diffère en fonction de plusieurs paramètres :

- La nature de fouille : en pleine masse, en rigole ou en tranchée ;
- La nature du sol et sa cohésion « argileux, graveleux ou rocheux » ;
- Les moyens mis en œuvre ;
- la présence éventuelle d'eau ou de nappe phréatique ;

Les parois des fouilles quelque soient en excavation ou en butté, sont aménagées de façon à éviter tout risque déboulement ou de glissement intempestif. Plusieurs techniques mises en œuvre :

- ♣ Le blindage et étalement ;
- ♣ La protection des talus à l'aide d'un film en matière plastique ; ♣

Le drainage des eaux d'infiltrations. Le blindage doit suffire aux trois conditions suivantes :

- 1- Pouvoir être mis en place et ensuite déposé sans exposer les excédents aux risques déboulements.
- 2- Etre suffisamment résistant pour s'opposer sans déformation ou risque de rupture à la pression exercée par le terrain sur les parois ;
- 3- Etre conçu de façon à constituer un ensemble ne risquant pas de se disloquer sous l'effort d'une poussée oblique par rapport aux parois de la fouille.

Le blindage doit atteindre sur toute sa longueur le fond de la tranchée et sa partie supérieure doit dépasser au moins 5 cm le sol.

Il doit être jointif sur toute sa surface. Pour la mise en place du blindage, tenir compte des surcharges permanentes et des vibrations produites par les véhicules, engins de terrassements et matériel de chantier.

- Le blindage doit être adapté à la nature du terrain ;
- Un drainage doit être prévu en cas d'infiltration ou de ruissellement ;
- L'accès à la tranchée est interdit avant la mise en place du blindage par le personnel affecté à cette tâche. Les espaces vides entre le blindage et le terrain sont à remplir ou à boucher.

Les parties frontales des tranchées doivent également être protégée par un blindage jointif ou elles doivent être talutées (6)

III.8 Rabattement des nappes et drainages

La présence d'eau dans les sols, modifie de manière non négligeable ses caractéristiques et les modes de terrassements pour cela il faut :

- Collecter les eaux de ruissellement
- Pomper les venues d'eau (faible) ou drainer
- Dans le cas de nappe phréatique avec présence d'eau permanente il faut procéder à un rabattement de la nappe.

Fond de fouille sous le niveau de la nappe phréatique Il faut continuellement évacuer l'eau en provenance de la nappe, en réalisant un rabattement en nappe.

assèchement de la fouille à l'aide d'une fosse L'eau recueillie dans un fossé en fond de fouille, est collectée dans un puisard sur creuse de 0.5 à 1 m puis évacuée par pompage.

Rabatement de nappe par pompage

Il effectue par pompage à l'intérieur d'élément filtrant : puits filtrants. Sont avantages

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

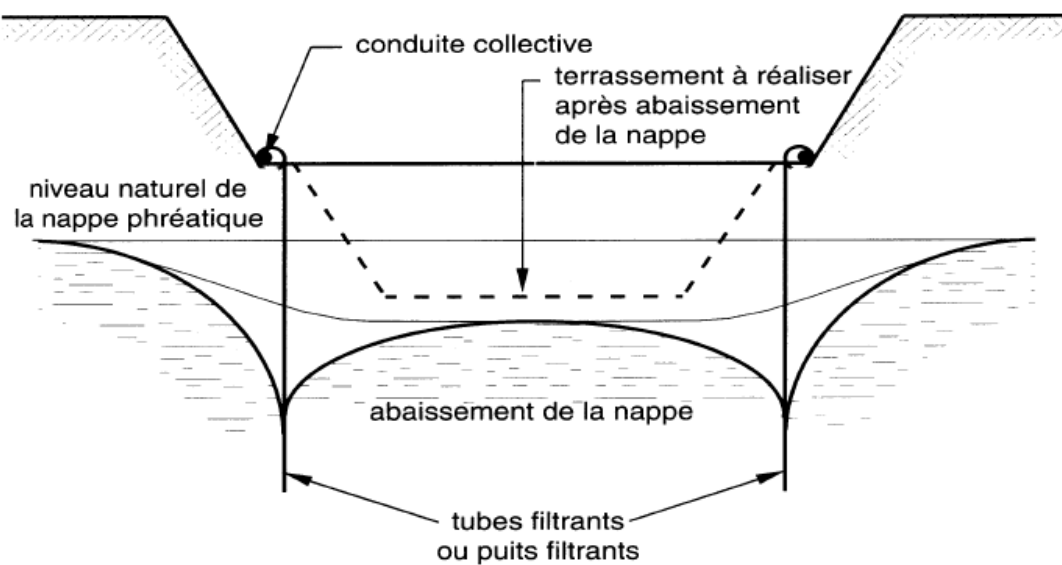


Figure III.5 rabattement de nappe par pompage (6)

CHAPITRE IV

POSE DES CANALISATIONS

Plan

- IV .1. Critères de choix des canalisations
 - IV .1.2. Choix des canalisations en fonction de la nature de terrain
 - IV .3. Remblais pour canalisations
 - IV .4. Manutentions des canalisations
 - IV .5. Technique de pose et d'assemblage des canalisations
 - IV .6. Essais d'étanchéité et réception des travaux
 - IV .7 Contrôle de qualité
-

IV .1. Critères de choix des canalisations

Lors d'une conception, renouvellement et pose des canalisations, on s'attachera à utiliser des matériaux adéquats en apportant un soin particulier au choix des conduites.

La nature du revêtement interne et externe choisi, en particulier et de sa conformité sanitaire interne à la qualité des eaux et de compatibilité avec les caractéristiques de l'eau, sa résistance aux agents externes liés aux problèmes de corrosions du sol. Il doit répondre aux critères suivants pour qu'il puisse préserver la qualité de l'eau véhiculée :

- Étanche à l'eau ;
- Faible rugosité ;
- Faible porosité ;
- forte compacité ;
- résistant à l'abrasion ;
- aux types du sol et de sa consistance ;
- Nature du milieu traversé (saturé ou sec).

Il faudra vérifier si l'eau véhiculée n'est pas agressive aux conduites, pièces spéciales (tel que le Té, coude..., joints et autres équipements.

L'opérateur peut orienter le choix du matériau vers un choix technique et économique et de la disponibilité sur marché national.

L'eau est l'élément véhiculée dans les réseaux présentent des caractéristiques physicochimiques très différentes. Deux principaux types d'eaux sont à prendre en compte :

- Les eaux corrosives pouvant attaquer le métal non revêtu ;
- Les eaux agressives envers les matériaux à base de ciment (7)

IV .1.2. Choix des canalisations en fonction de la nature de terrain

Pour faire le choix des différents types de conduite on doit tenir compte

- Des pentes du terrain ;
- Des diamètres utilisés ;
- De la nature du sol traversé ;
- De la nature chimique des eaux usées ;
- Des efforts extérieurs dus au remblai.

Un revêtement extérieur a pour fonction d'assurer une protection durable contre la corrosivité des sols.

Afin de pouvoir déterminer le tuyau adapté a un type de sol défini, une étude préalable sur la corrosivité/ agressivité du terrain est conseillée.

On peut distinguer en première analyse les terrains suivants :

- 1- A faible risque : sables et graviers, matériaux d'empierrements et les calcaires.
- 2- A risque élevé : marnes et argiles.
- 3- A risque très élevé : gypse, pyrite et combustible. (8)

IV .2. Terrassement pour canalisations

Le fond de la tranchée est purgé des pierres qui pourraient s'y trouver ; il est convenablement dressé. La profondeur de cette tranchée est déterminée de façon qu'une distance suffisante soit ménagée au dessus de la génératrice supérieure du tuyau pour éviter les dégâts qui pourraient être causés par le gel. Cette distance varie de 0.6 à 1.2 m selon que les régions.

Le fond de fouille est ensuite recouvert d'un lit de pose de 0.15 m à 0.2 m d'épaisseur bien pilonné et bien nivelé suivant les cotes du profil en long.

Ce lit de pose est constitué :

- Par gravier, dans les terres ordinaires ;
- Par de la pierre cassé à l'anneau de 5 cm pour former drains dans des terrains imperméables ou rocheux.
- Par un lit de béton maigre dans les parties rocheuses très en pente (7)

IV .3. Remblais pour canalisations

a) L'enrobage des tuyaux circulaires ou ovoïdes jusqu'à la hauteur du diamètre horizontale et jusqu'au rien pour les tuyaux ovoïde ; l'assise et l'enrobage conditionne la bonne tenue de la canalisation ; le matériau utilisé est poussé et damé à la main sous les flancs de la canalisation.

b) Ensuite, on poursuit le remblaiement et le damage, par couches successives, systématiquement et uniformément jusqu'à une hauteur de 0.10 m au dessus de la génératrice

supérieure de l'assemblage de façon à parfaire l'enrobage. la qualité du matériau employé à la constitution du lit de pose et du calage.

- c) A partir du 0.10 m de hauteur, le remblaiement poursuivi à l'aide d'engins mécaniques avec la terre des déblais purgée des éléments, pierres supérieures à 30 mm ; l'ensemble est légèrement damé. Cela est acceptable dans la situation où la tranchée est ouverte dans un terrain de culture.

Au droit ou au long des canalisations rencontrées, le remblaiement fait l'objet de soin spéciaux pour éviter toute rupture ou tout dommage éventuel à ces canalisations. On peut ajouter que, chaque fois que les sols et les matériaux de remblais s'y prêtent, le remblaiement hydraulique est intéressant et permet de rendre cette opération plus efficace.

❖ Problèmes de tassement des remblais

L'établissement des remblais dans les fouilles permet de réduire les coefficients de tassement.

Une longue pratique des travaux permet de fixer les coefficients de tassement sous l'effet des surcharges comme suit :

- Sable et gravier 10 % approximativement de tassement ;
- Déblais secs, sable et gravier : 8 % approximativement de tassement.

Devant cette situation, le chargé de la réalisation doit assurer convenablement l'entretien des tranchées (13)

IV .4. Manutentions des canalisations

- 1- Inventorier les moyens de manutention mécanique adaptés à la configuration du chantier.
- 2- Prévoir l'organisation de la manutention sur le site ou sur le chantier depuis la livraison jusqu'à la mise en œuvre.
- 3- Déterminer et respecter les cheminements horizontaux et verticaux en fonction de la configuration du chantier, des charges à déplacer ; tenir compte de la circulation des véhicules et engins, de la présence de machines, des zones de survol des appareils de levage... Ces cheminements doivent en outre être reconnus à l'avance, balisés et maintenus débarrassés des obstacles ou matériaux.
- 4- Aménager les postes de travail, de stockage et les circulations en vue de faciliter les tâches de manutention et de diminuer la pénibilité (13)

IV .5. Technique de pose et d'assemblage des canalisations

La plupart du temps, les conduites sont posées en tranchée ouverte. Cette opération s'effectue par tronçons successifs en commençant par les points hauts de manière à assurer, s'il y a lieu, l'écoulement naturel des eaux d'infiltration.



Figure IV.1 photo de pose de canalisation sur chantier (google image)

La largeur de la tranchée doit être telle qu'un homme puisse y travailler. Elle est rarement inférieure à 0,70 m pour les petits diamètres. Pour les diamètres supérieurs à 150 mm, cette largeur doit être augmentée. Au droit des joints, il est pratiqué dans les parois latérales des élargissements de la tranchée appelés niches.

Il est essentiel que les tuyaux soient posés en files bien alignées et bien nivelées. L'enfouissement des canalisations a pour but de les protéger contre les dégradations extérieures, de conserver la fraîcheur de l'eau et de la mettre à l'abri de la gelée. L'épaisseur de la couche de terre est de l'ordre de 1 mètre.

Le fond d'une tranchée doit être bien plan tout le long d'une même pente, afin que la conduite soit bien rectiligne entre deux changements de pente ou de direction consécutifs.

Dans les **terrains rocheux**, ou à la rencontre d'un massif en maçonnerie la tranchée est approfondie d'une vingtaine de centimètres, puis remblayée sur cette hauteur avec un matelas élastique de terre rapportée.

Dans les **terrains vaseux**, le fond de la fouille est constitué par un lit de béton maigre ; il est parfois nécessaire de poser la conduite sur un platelage fixé à des pieux battus à refus et moisés.

Dans les **terrains ébouloux**, si la conduite a une forte pente, il faut la retenir de place en place, en l'ancrant par des colliers à des massifs en maçonnerie placés au fond de la tranchée.

Lorsque le fond de la tranchée a été bien préparé, les tuyaux y sont descendus, soit à bras pour les petits diamètres, soit à l'aide d'engins spéciaux pour les gros diamètres, puis ils sont mis en place bout à bout; il est ensuite procédé aux assemblages.

Avec les **tuyaux en acier**, les revêtements doivent être rigoureusement reconstitués partout où ils auraient été détériorés. Ce type de tuyau permet de descendre dans une tranchée de largeur réduite plusieurs centaines de mètres de canalisations assemblés et éprouvés sur le bord de la fouille.

En été, la descente en fouille des canalisations en acier soudé ne doit avoir lieu qu'aux heures les plus fraîches de la journée et jamais après que les canalisations ont été chauffées par le rayonnement solaire.

Avec les **canalisations en polychlorure de vinyle**, le façonnage éventuel doit s'effectuer sans élever la température à plus de 140 oc. Le cintrage doit avoir lieu uniquement en atelier, le tuyau étant- maintenu par un remplissage de sable chaud.

Avec les **canalisations en polyéthylène**, l'enfouissement à la charrue est interdit, sauf dérogations expresses. Si le cintrage a lieu suivant une courbe de diamètre compris entre 16 fois et 6 fois le diamètre extérieur du tuyau, il doit s'effectuer à chaud ; de plus fortes courbures sont à proscrire.

En cas de pose pendant les journées chaudes, le serrage des jonctions extrêmes des canalisations et le remblaiement ne doivent avoir lieu qu'aux heures fraîches, de préférence dans la matinée.

Les technique d'assemblage des tubes en PE se divisent en 2 grandes familles :

Les assemblages par soudage dont le principe général est la fusion et les assemblages mécaniques dont le principe est la compression d'un joint.

Des techniques spécifiques de raccordement tubes en polyéthylène (PEHD) sont nécessaires pour une meilleure performance des conduits ainsi créés. Trois techniques de raccordement peuvent être utilisées, selon la nature du réseau, le diamètre des tubes et l'importance du chantier. Nous verrons donc successivement la soudure par électrofusion, la soudure bout à bout et l'assemblage par raccords à compression(11)

- La soudure par électrofusion

Cette technique permet de raccorder des tubes de diamètres égaux ou de diamètres différents. Des raccords soudables se situent sur les pièces en PE pour permettre le raccord. Une fois gratter, nettoyer et positionner, les bornes de soudages sont fixées. La dissipation de la puissance électrique entraîne une fusion de surface des deux pièces à assembler. Ils se mélangent ainsi pour offrir une cohésion et une étanchéité parfaites(10)



Figure IV.2 Appareil de soudage par électrofusion (google image)

- La soudure bout-à-bout

La pose de tuyaux PEHD peut également se faire par raccordement de tubes sans apport de matière. La technique du soudage bout-à-bout est généralement utilisée pour assembler des tubes et des raccords en PEHD d'épaisseurs identiques. Ce procédé consiste à chauffer à l'aide d'un outil les extrémités dressées des tubes et/ou des raccords dans des conditions de pression de contact et de températures prédéfinies. Les extrémités sont ensuite rapidement mises en contact et maintenues à l'aide d'une pression jusqu'à refroidissement pour les fixer.



Figure IV .3 La soudure bout-à-bout

- L'assemblage par raccords à compression

Le raccordement par compression utilise des raccords à visser. Ces derniers peuvent être en plastique ou en laiton. Selon la dimension des tubes, il existe des raccords de différents diamètres. Cet assemblage peut également utiliser des manchons, des coudes 90, des té, ou des adaptateurs mâles et femelles. Il suffit de fixer les deux bouts à l'aide des raccords choisis(10)

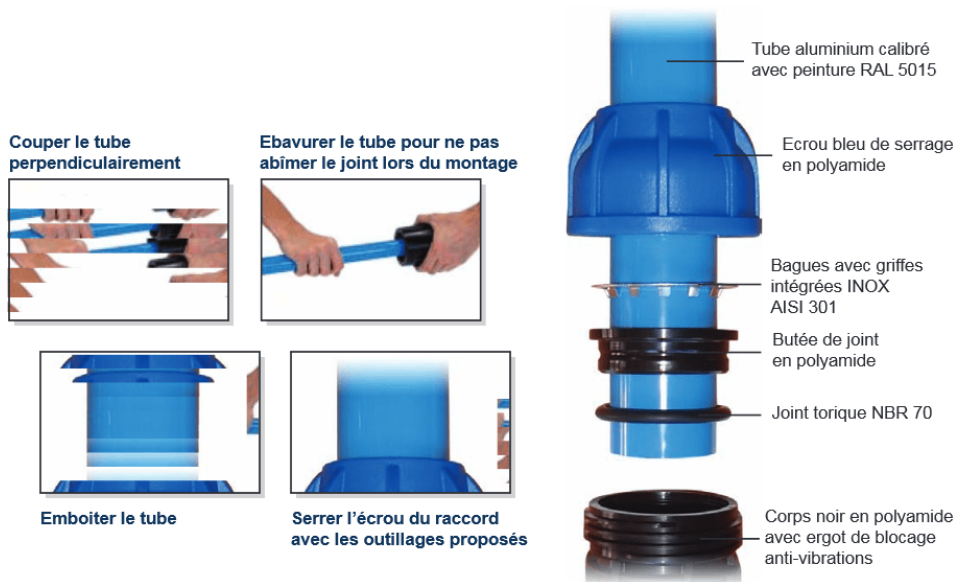


Figure IV.4 L'assemblage par raccords à compression

La mise en œuvre de ces techniques d'assemblage doit être effectuée par du personnel qualifié afin d'optimiser la pérennité des ouvrages en PE.

Les réseaux PE soudés sont d'une fiabilité exceptionnelle : étanches, répondant parfaitement aux normes sanitaires, autobutée, d'une durée de vie prouvée par l'expérience et les tests de vieillissement, faciles à poser, permettant des rayons de courbure inférieurs aux réseaux traditionnels, insensibles aux mouvements de terrain, avec un coefficient de rugosité très favorable, résistants à l'entartrage et au tuberculage ... Ces avantages sont décisifs, d'autant plus que les raccordements, sur des réseaux existants ou pour les branchements, ne posent aucune difficulté (10)

IV .6. Essais d'étanchéité et réception des travaux

Sont concernés les tuyaux préfabriqués aussi bien que ceux construits en place. Ces essais sont exécutés sur des conduites prélevés au hasard (cas des conduites d'assainissement), à raison de cinq éléments par mot de 1000 éléments pour l'essai à l'écrasement et de dix éléments par lot de 1000 éléments pour l'essai d'étanchéité.

a) Les essais sont indispensables, en particulier sur les réseaux d'eau usés pour éviter, tant de polluer la nappe que de perturber gravement le fonctionnement de la station de pompage et la station d'épuration en cas de vannes d'eaux extérieures.

Les épreuves sont effectuées à l'eau à une pression n'excédent pas la hauteur d'eau correspond au complet remplissage des regards ; la durée des épreuves est 30 min, les tuyaux sont disposés à plat et la pression d'essai est de 0.5 bar pour le cas des conduites ovoïdes et de 1 bar pour les autres tuyaux. Il ne doit se produire sur les tuyaux, ni aucune fuite aux joints, aux regards, les épreuves peuvent être également effectives à la fumée, c'est le cas de canalisation de grand section.

Les sections à éprouver doivent représenter une longueur cumulée égale à 1/10 de la longueur totale de réseau.

Il existe actuellement des moyens de télévision qui permettent d'inspecter des canalisations après pose d'un détecteur immédiatement les défauts.

b) avant la réception, il est procédé à un essai général du réseau qui porte sur les conduites d'écoulement, et sur le fonctionnement d'appareillage.

c) toutes les épreuves et essais font l'objet d'un procès verbal contradictoirement entre le maître d'œuvre et l'entrepreneur (12)

IV .7 Contrôle de qualité

La qualité et sécurité des ouvrages hydrauliques exigent une vérification permanente de la bonne mise en œuvre des matériaux au fur et à mesure de la phase de la conception, l'exécution à la phase d'exploitation. Le contrôle de la qualité du réseau et d'ouvrages annexes à partir des paramètres conventionnels, demeure essentiel. Le maître d'œuvre est responsable du contrôle d'exécution de l'ensemble des ouvrages à réaliser. A ce titre, il doit s'assurer que l'entreprise à bien prévu les moyens nécessaires au contrôle de la qualité des matériaux et de leur mise en œuvre. A cet effet, le maître d'œuvre devra examiner régulièrement les résultats des contrôles communiqués par l'entreprise. Sur un chantier, les contrôles portant notamment sur les matériaux, l'exécution des remblais compacts, sur les bétons des ouvrages principaux où annexe, sur l'assemblage des conduites en matières plastique (soudage bout à bout, l'électrosoudage) ou pour le cas d'assemblages soudés et pour le cas des conduites en béton (4)

CHAPITRE V

BETONS HYDRAUIQUES

Plan

- V .1. Indications générales
 - V.2. Consistance des bétons
 - V.3 Tableau des classes de consistance
 - V .4. Résistance des bétons
 - V .5. Choix des matériaux de composition
 - V .6. Fabrication des bétons
 - V .7. Transport, manutention et ouvrabilité
 - V .8. Adjuvants
 - V .9. Essais de contrôle du béton et des produits bitumineux
-

V .1. Indications générales

Indications générales Le Béton est un matériau composite fabriqué à partir de granulats (sable, graves) agglomérés par un liant.

Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment.

On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux.

- Le coulis : mélange très fluide de ciment et d'eau.
- Mortier : liant hydraulique + sables. Il est possible de modifier (accélérer ou, au contraire, retarder) la vitesse de prise en incorporant au béton frais des adjuvants (additifs). L'eau a un double rôle: d'hydratation et facilitateur de la mise en œuvre (ouvrabilité).

En l'absence d'adjuvant plastifiant, la quantité d'eau est déterminée par la condition de mise en œuvre. La confection du béton, doit concilier entre la maniabilité et la résistance mécanique du béton. Ces deux paramètres dont les objectifs sont opposés, seront corrigés en utilisant les matériaux conformes pour obtenir la bonne formulation du béton, on signale que :

- L'eau en excès permet une bonne maniabilité du béton mais une mauvaise résistance.
- Les granulats roulés donnent une bonne maniabilité au béton mais une mauvaise résistance.
- Les granulats concassés permettent une mauvaise maniabilité et bonne résistance du

béton. Toute fois, d'autre facteurs peuvent engendrer des problèmes pour le béton, tels que :

- Corrosion - Attaque par les sulfates. - Fissures (par retrait, fluage,...).

- Le Béton de ciment présente une excellente résistance à la compression, mais une faible résistance à la traction (1/10), et donc aussi à la flexion **(3)**

V.2. Consistance des bétons

Les classes de consistance sont mesurées selon le test au cône d'Abrams. Elles correspondent à une caractéristique du béton lorsqu'il est encore frais. Ces différentes classes vont vous permettre de mesurer la fluidité de votre béton et d'ajuster votre dosage en fonction des performances recherchées. L'ouvrabilité est une caractéristique à ne pas négliger, surtout lorsqu'il s'agit de la mise en place du béton sur un chantier. Par conséquent, la classe de consistance de votre béton variera en fonction du dosage de votre béton. Si vous recherchez un béton fluide, le dosage en ciment et en eau sera important, ce qui aura également tendance à augmenter le prix du béton.

V.3 Tableau des classes de consistance

Il existe 5 différentes classes de consistance des bétons référencés par la norme NF EN 206-1.

Ces classes sont définies par les essais d'affaissement du béton au cône d'Abrams(3).



Figure V.1 : Essai d'affaissement au cône d'Abram(3)

Tableau 1 : Classe de consistance du béton.

Classe	Affaissement en mm	Définition	Exemple
1	de 10 à 40 mm	Béton ferme, construction sur une pente forte	Escalier, accès en pente, béton de voirie
S2	de 50 à 90 mm	Béton plastique, construction sur une pente faible	Dalle pleine, ouvrage d'art
S3	de 100 à 150 mm	Béton très plastique, construction sur une surface plane	Dalle, fondation
S4	de 160 à 210 mm	Construction sur une surface plane	Dalle, fondation, voile

S5	≥ 220 mm	Béton fluide, construction sur une surface plane, absence de système de vibration	Dalle, fondation
----	---------------	---	------------------

Dosages et compositions

Composition du béton Le béton est un mélange précisément dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants. Il peut varier en fonction de ses utilisations.

a. Ciment Le ciment joue le rôle de liant du béton hydraulique.

Le ciment est composé d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit avec l'eau. Pour faire du béton ou du mortier, on utilise du ciment gris ordinaire dit de Portland.

b. Sable ou granulat On utilise généralement du sable de rivière ou de carrière débarrassé des impuretés, jamais de sable marin ou de sable de remblai.

Ces derniers contiennent des éléments néfastes pour la qualité du béton et du mortier. Les dosages sont donnés la plupart du temps en volume de sable sec.

c. Eau Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre. Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière : trop d'eau dans le béton entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.

L'association ciment-eau génère des réactions extrêmement complexes. Les silicates et aluminates se développent pendant la phase d'hydratation. Ils forment alors un gel cristallin qui marque le début du phénomène de "prise".

Au cours de la phase de durcissement, qui peut durer plusieurs mois, la multiplication des microcristaux augmentent les résistances mécaniques : le béton se transforme alors en une véritable roche composite.

d. Gravier Le gravier est composé de particules rocheuses lisses quand elles sont issues d'une rivière (c'est le gravier le plus recherché) ou concassées quand elles proviennent d'une carrière. Il faut impérativement que le gravier soit débarrassé de toutes les impuretés. Il existe différents calibres de gravier. Les plus gros calibres sont utilisés en général pour les fondations et le gros œuvre. La résistance du béton sera d'autant plus grande si on mélange différents calibres de graviers.

e. Adjuvants Les adjuvants (additifs) sont incorporés au béton en faible quantité (moins de 10 kg/m³). Les super plastifiants ou fluidifiants ont des propriétés similaires à celles de réducteurs d'eau, mais avec une efficacité beaucoup plus importante. Ils permettent des fluidités extrêmes, utiles pour produire des bétons auto-plaçants, ou auto-nivelants (Chape liquide...).

D'autres adjuvants permettent de modifier la prise et le durcissement comme les accélérateurs de prise qui permettent de décoffrer rapidement, ou au contraire des retardateurs, utilisés pour maintenir l'ouvrabilité du béton (14)

V .4. Résistance des bétons

Pour l'établissement des projets, un béton est défini par sa résistance à la compression à 28 jours. Cette valeur, dite résistance caractéristique, et représentée par le symbole (f_{c28}). Cette résistance varie en fonction de l'âge du béton en jours.

La mesure de sa résistance en compression est assurée à l'aide des éprouvettes.

Cette résistance diminue si on augmente la quantité d'eau dans le béton et augmente si on augmente la quantité de ciment. On soumet ces éprouvettes (en général 28 jours après avoir confectionné les éprouvettes) à une force d'écrasement et on mesure l'effort nécessaire pour casser l'éprouvette. La résistance à la compression des bétons courants est comprise entre 20 et 50 MPa (au-delà de cette résistance on parle de bétons à hautes performances).

La résistance à la traction du béton à j jours est exprimée en MPa notée par (f_{tj}). Conventionnellement il est calculée par :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj} \quad \text{si} \quad f_{c28} < 60 \text{ MPa.}$$

$$\text{Et : } f_{tj} = 0.275 f_{cj}^{2/3} \quad \text{si} \quad 60 < f_{c28} < 80 \text{ MPa}$$

V .5. Choix des matériaux de composition

V .5.1. Eau de gâchage

L'eau entrant dans la composition ne doit pas contenir d'éléments nuisibles et d'impuretés en quantités ou provoquer la corrosion des armatures.

L'eau potable convient à tous types de bétons.

L'eau de ruissellement, les eaux pompées de la nappe phréatique, les eaux de rejets industrielles doit subir un essai convenance.

L'eau de Mer et eaux saumâtres peuvent être utilisées pour du béton non armé uniquement. Les eaux usées et eaux de vannes ne conviennent pas.

V .5.2. Granulats

Un granulat est constitué par l'ensemble de grains minéraux appelés fines, sable, gravillons ou cailloux suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 80 mm.

Diamètre	fine graves	sable	gravillons	cailloux
(mm)	<0.08	0.08 à 6.3	≤ 31.5	≤ 80
80		6.3 à		

Critère de choix des granulats

On doit prendre en compte trois grands critères :

Critère 1 : adéquation granulats/ béton

Tableau 2 : l'influence de certaines caractéristiques des granulats sur la qualité du béton.

Caractéristiques	Influence sur le béton
Nature minéralogique	La plupart des granulats conviennent pour le béton. Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux (gonflement et altération à terme).
Présence de matière organique	Influence défavorable sur la prise et le durcissement. Chute de résistance.
Teneur élevée en sulfates, sulfure et chlorure	Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures.
Propreté des granulats	Critère important. Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/ pâte.
Forme des grains et angularité	Peu importante généralement ; certains sables concassés peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.
Granulométrie	Importante pour la bonne composition du béton.

Tableau 3 : Critères granulométriques du choix des bétons.

Critère 2 : aptitude à l'emploi selon la roche d'origine.

Roche d'origine	Propriété	Possibilité d'emploi pour le béton
éruptive		
Granite	Dures et compact, bonne résistance au gel	Oui pour la plus part
Diorite		
Porphyres		

Basalte		
Métamorphique		
Quartzite	Dures et compact inattaquables chimiquement	Granulat de qualité utilisé pour les parements
Marbre	-	oui
Schiste	Sensible au gel	Uniquement schistes durs
Gneiss		
sédimentaire		
Calcaire	Bonne adhérence au mortier	oui
Dolomies	-	Essai préférable

Tableau 3 : Critères selon le type de la roche pour choix des bétons.

Critère 3 : choix selon l'emploi du béton on peut utiliser les granulats selon la nature du béton.

Emploi		Densité	granulats
Béton classique pour le chantier ou la préfabrication		2.2 à 2.4	Tous granulats roulés ou concasses avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico- calcaire.
Bétons apparents architectoniques			Dito – ci-dessus + porphyres, basalte, granites, diorite, qui offre une palette très riche d’aspect et de teinte.
Bétons légers	De structure	1.5 à 1.8	Argile ou schiste expansé, laitier expansé
	Semi – isolants Semi porteur	1 à 1.5	Argile expansé, pouzzolane, ponce
	Isolants	0.3 à 0.8	Vermiculite, liège, bois, polystyrène expansé, verre expansé.
Bétons lourds		3 à 5	Corindon, barytine, magnétite.
Bétons réfractaires		2.2 à 2.5	Corindon, déchets de produits réfractaires, brique, silico- alumineux, laitier, granulas spéciaux.
Bétons ou chape pour dallage industriels (abrasion importante).		2.4 à 3	Corindon, carborundum, granulats métalliques

Tableau 4: Critères selon l'emploi du béton.

Le dosage en ciment varie beaucoup puisqu'il dépend des contraintes en services et de l'ouvrage à réaliser.

V .5.3. Ciment

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques, car, ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Il ne faut pas confondre:

Le ciment, poudre commercialisée en sac ou en vrac, avant son gâchage avec l'eau;

La pâte de ciment, au moment du gâchage du ciment avec l'eau;

Le ciment hydraté ou pâte de ciment durcie lorsque le mélange eau + ciment s'est solidifié. (15)

V .6. Fabrication des bétons

Le choix des malaxeurs, centrale à béton ou d'une bétonnière dépend de sa capacité de production, de son aptitude à malaxer différents types de mélanges. Pour donner des bétons réguliers adaptés aux exigences d'un chantier.

Pour les petits chantiers est avant le commencement de la fabrication du béton, il faut : préparer et assurer une zone plane de gâchage, installer l'outil de gâchage à proximité des tas d'agréats et prévoir une source d'eau.

La production de béton dépend du provisionnement de la bétonnière et du malaxage. Le mode de prélèvement des granulats doit permettre d'obtenir des matériaux de granulométrie et de teneur en eau régulière. Le dosage des constituants est pondéral et doit prendre en compte la teneur en eau des granulats. La durée de malaxage doit être suffisante pour assurer l'homogénéité du mélange : on tenant compte 2 à 3 minute pour les bétonnières courantes et un peu moins pour les malaxeurs (16)

V .7. Transport, manutention et ouvrabilité

Toutes préventions sont prises pour éviter en cours de transport la ségrégation des éléments et évaporation excessive.

La hauteur de déversement du béton en chute libre ne dépasse pas 1,50 m. le béton émergé est mis en place avec un tube.

Le béton doit être vibré ou pervibré partout à l'étanchéité et requise.

Lorsque la température extérieure est inférieure à 0°C, la mise en place du béton est dé fondue.

Le transport du béton est assuré par des camions bennes sur des distances maximales de 30 km ou par des camions toupies.

Le transport du béton de la centrale doit se faire en respectant les conditions suivantes :

- Transport assez rapide pour que le béton puisse être vibré avant le début de la prise ;
- Mélange de bonne qualité et sans ségrégation.

Le béton est mise en place par levée successive de 1 à 1.5 m. la hauteur de ces levées est limitée par les raisons suivantes :

- Dissipation de l chaleur de prise du béton avant nouvel apport du béton frais.
- Réduction des poussées sur les coffrages.
- Réduction des capacités maximales de bétonnages.

Le temps de transport est limité à 1h30 sauf si des produits retardateurs de prise ont été ajoutés au béton au moment de la fabrication en centrale.

La mise en place de béton se fait toujours de l'aval vers l'amont pour que les surfaces de contact de coulées différentes soient les plus normales possibles aux efforts. Il doit déposer aussi près que possible de sa position définitive. L'épaisseur des coulées est habituellement comprise entre 30 à 50 cm.

La méthode de coulage dite « en escalier » paraît plus rationnelle mais elle complique le travail de l'entreprise par rapport à la méthode des lits horizontaux superposés.

Pour les radier inclinés, il est tentant d'utiliser des bétons très raides non vibrés.

Pour mettre en place le béton sur un radier incliné ; le coffrage glissant doit être en acier, lesté en non vibré. Le béton doit être chargé par la partie supérieure.

Le décoffrage ne doit intervenir qu'après durci ciment partiel du béton, il faut alors éviter la dessiccation superficielle du béton soit par arrosage. (3)

❖ reprise de bétonnage

Elle doit assurer un bon contact mécanique et bonne étanchéité.

Pour mettre en place une nouvelle coulée de béton, il faut que la précédente ait suffisamment refroidi et que les réactions chimiques du durcissement n'y soient pas terminées, ce qu'améliore la liaison

La surface de reprise est préparée de la manière suivante :

*/ en fin de prise on élimine la laitance au moyen d'un jet d'eau ou d'air et d'eau. Cette préparation de la surface réduit le risque de fissuration et la laisse assez rugueuse. Le stockage des reprises et quelques fois exigés : c'est une opération longue et coûteuse qui devrait, semble-t-il, être abandonnée.

*/ la nouvelle levée est mise en place après nettoyage de la surface à l'air comprimé.

*/ lorsque les bétons de la levée précédente sont trop anciens ou que l'état de surface ne permet pas un bon accrochage, on peut utiliser les résines pour améliorer le contact.(3)

V.8. Adjuvants

Un adjuvant est produit incorporé aux bétons, mortiers lors de malaxage ou avant la mise en œuvre qui modifie certaines de leurs propriétés à l'état frais ou durci.

Chaque adjuvant a une fonction principale, caractérisée par la (ou) les modifications majeures apportées et des modifications secondaires. L'emploi des adjuvants, dosé normalement ($\leq 5\%$ de la masse de ciment), ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton. On peut distinguer :

a) Adjuvants modifient l'ouvrabilité

En modifiant le comportement rhéologique des bétons, mortiers à l'état frais avant le début de prise, il diminue la viscosité de la pâte. .(17)

a-1) Réducteurs d'eau plastifiants

Ils augmentent les résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau. Cela entraîne une compacité et donc une durabilité accrue du béton. .(17)

a-2) Les superplastifiants

Ils provoquent un fort accroissement de l'ouvrabilité.

b) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Produits chimiques solubles dans l'eau, ils modifient les solubilités des différents constituants des ciments est surtout leurs vitesses de dissolutions.

b-1) accélérateurs de prise et de durcissements

Les premiers diminuent les temps de débuts et de fins de prise du ciment alors que les seconds accélèrent le développement des résistances initiales. .(17)

b-2) retardateurs de prise

Introduits dans l'eau de gâchage, ils augmentent les temps de débuts et de fin de prise du ciment dans les bétons ou mortiers (ils freinent, en général, la diffusion de la chaux libérée par l'hydratation du ciment et retardant de ce fait la cristallisation). .(17)

c) Adjuvant modifiant certaines propriétés du béton**c-1) entraîneurs d'air**

Ils provoquent la formation dans les bétons, mortiers ou coulis de microbulles d'air (uniformément réparties dans la masse) jouant le rôle de chambre d'expansion. L'ouvrabilité est améliorée, mais on constate une diminution des résistances mécaniques non compensée par la réduction possible de la quantité d'eau.(17)

c-2) hydrofuge de masse

Il diminue l'adsorption capillaire des bétons, mortier ou coulis durcis et confèrent une bonne étanchéité au béton si celui-ci a été correctement composé. .(17)

V .9. Essais de contrôle du béton et des produits bitumineux

Le contrôle de béton à pour but de vérifier la régularité de la fabrication et la mise en œuvre des bétons et de contrôler si leur résistance normale prévue au marché est bien atteint. Les essais portent essentiellement sur la maniabilité (essai d'affaissement), la composition, la densité et la résistance mécanique.

La surveillance portera notamment sur les points suivants :

- Contrôle de la granulométrie des agrégats, par tamisage si nécessaire, et de leur propriété, la propriété des sables est déterminée par la méthode d'équivalent de sable.
- Contrôle de dosage des constituants est en particulier de l'eau de gâchage. Un excès d'eau de gâchage de 20% fait perdre au béton environ 25% de sa résistance.
- Contrôle le temps de malaxage, des conditions de transports et de mise en œuvre du béton et notamment de sa vibration qui ne doit en aucun cas entraîner une ségrégation de celui-ci.
- Contrôle de la consistance des bétons frais, par la méthode d'affaissement du cône d'Abrams. Cet affaissement doit être de l'ordre de 2,5 à 5 cm pour des bétons vibrés.
- Le béton doit être protégé contre la dessiccation et le gel pendant au moins 72 heures après sa mise en place.

Parallèlement à ces contrôles destinés à garantir la bonne qualité des bétons à des essais systématiques seront effectuées sur des éprouvettes prélevées en cours de bétonnage. Ces essais consistent en la mesure de résistance à la rupture à la compression et à la traction des éprouvettes de béton à 7 jours et à 28 jours après la fabrication, ainsi qu'en la mesure de la densité de béton. Le prélèvement des éprouvettes sera au minimum de 3 par partie d'ouvrage de grande importance ou par semaine de bétonnage.

Les essais de contrôle des éprouvettes sont souvent effectués dans les laboratoires extérieurs de chantiers.

Le contrôle du mastic bitumineux porte essentiellement sur la température de mise en œuvre du mastic généralement voisine de 200°C, et sur sa composition.(3)

Bibliographie

- (1) André DUPONT, avril 1988. *Hydraulique urbaine*. Tome 2, 6 ième éditions, Paris, EYROLLES, 484p.
- (2) DIDIER. D e al. 1999. *Chantier matériels et matériaux, mise en œuvre, normalisation*, AFNOR, ISBN Nathan : 2-09-178624-1. 244p.
- (3) B.Halouche 2013 *ogranisation du chantier polycopie de cours université de OEB*
- (4) Dr Madi Rafik 2014 *ogranisation du chantier polycopie de cours université de Guelma*
- (5) *La pose de canalisation pour la distribution de l'eau potable 1990*
<https://www.ircwash.org/sites/default/files/262.0-90PO-6985.pdf>
- (6) REALISATION DES TERRASSEMENTS EN VUE DES FONDATIONS DES OUVRAGES
<https://www.over-view.fr/wp-content/uploads/2019/08/g32-extrait-editions-ginger.pdf>
- (7) <http://www.eauxpotables.com/archives/2007/11/14/6589646.html> consulté le 01 /04/2022 a 8h
- (8) <http://hydrauliqueformation.blogspot.com/2013/03/canalisation-choix-types-et-joints.html> consulté le 01 /04/2022 a 8h
- (9) *Pose des conduite d'eau potable 2013 DINEPA*
<https://www.dinepa.gouv.ht/referentieltechnique/doc/4-genie%20civil%20et%20hydraulique/4.2.3.%20FAT2%20-%20Pose%20canalisation%20AEP.pdf>
- (10) *Guide de pose et d'utilisation des canalisations en polyéthylène 4eme édition LE COMITÉ DE RÉDACTION DU STR-PEPP*
- (11) GUIDE D'AIDE AU CHOIX DES MATERIAUX DE RESEAUX D'EAU POTABLE ET /OU D'ASSAINISSEMENT <https://www.chartes-qualite-lr.org/wp-content/uploads/2018/07/7-Guide-Choix-materiaux-2015.pdf>
- (12) <https://www.pamline.fr/catalogue/nos-produits/catalogue-annexes/reponses-techniques/mise-oeuvre/reception/essai-chantier>
- (13) GUIDE D'AIDE AU CHOIX DES MATERIAUX DE RESEAUX D'EAU POTABLE ET /OU D'ASSAINISSEMENT <https://www.chartes-qualite-lr.org/wp-content/uploads/2018/07/7-Guide-Choix-materiaux-2015.pdf>
- (14) <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/classes-de-consistance-du-beton/>
- (15) Formulation et propriétés mécaniques du BÉTON ARMÉ https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/111474/mod_resource/content/1/Chapitre1.Formulation%20et%20propri%C3%A9t%C3%A9s%20m%C3%A9caniques%20du%20B%C3%A9ton%20arm%C3%A9.pdf
- (16) https://ena.etsmtl.ca/pluginfile.php/125475/mod_resource/content/1/Cours-B%C3%A9tonETS.pdf
- (17) https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/maconnerie/les-adjuvants-pour-beton-4019_A
- (18) <http://www.gestiondeprojet.net/gantt.html#faq1> consulté 12/04/2022 à 11 :47
- (19) <https://dwg.biblioconstruction.com/2010/01/cours-terrassement-pleine-masse.html> consulté 15/04/2022 à 12h
- (20) <https://drive.google.com/file/d/11hW-s8gxjdyfzForsUbFrthROzKV4VP/view>
- (21) <https://www.over-view.fr/wp-content/uploads/2019/08/g32-extrait-editions-ginger.pdf>
- (22)