

Université Mohammed Boudiaf

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

Cours PGC Procédés Généraux de Construction Partie02

Présenté par Docteur Menasri

Master 2

Année universitaire 2023-2024

Chapitre II

LES FONDATIONS

I Principes et fonctions

Les fondations sont les bases de l'ouvrage; c'est donc la partie la plus importante de la construction. On doit apporter le plus grand soin à la préparation des fondations afin de ne pas nous exposer à de graves désordres dont la réparation est souvent difficile et toujours coûteuse. Les fondations mettent en contact le bâtiment avec le terrain d'assise, et doivent reporter sur le « bon sol » les charges et assurer la stabilité et la sécurité de la construction sans tassement, ni glissement, ni affouillement préjudiciable.

1- Reportez les charges au « bon sol »

Dans ce but, les charges à reporter doivent être estimées. Elles comprennent: Le poids propre du bâtiment :

- Murs
- Planchers et revêtements
- Cloisons
- Charpente et couverture

Les surcharges admises pour le type de construction :

- Personnel
- Mobilier
- Matériels divers ...

Condition à vérifiée : **(Poids des charges + surcharges)/ Surface d'appui au sol** est inférieur à la résistance admissible du sol (σ_s).

2- Assurez la stabilité :

Le terrain ne doit pas se tasser sous les massifs de fondation. En pratique, les tassements doivent rester inférieurs à 20 mm, et, surtout, être uniformément répartis. Des tassements non uniformes sont dits « différentiels ». Ils peuvent se produire pour un ouvrage:

- reposant sur des sols de natures différentes
- Chargé dissymétriquement
- reposant sur un remblai d'épaisseur variable

L'ouvrage ne doit pas se déplacer sous "action de poussées de terrain ou sous l'effet de glissements éventuels (cas de terrains en pente ou couche de terrains inclinés).

Enfin l'ouvrage ne doit pas être soulevé par la poussée de la nappe phréatique. En conséquence vous devez: ,
- apprécier, par une reconnaissance de sol les contraintes admissibles aux différentes profondeurs.

- évaluer ensuite les charges et surcharges à transmettre.

Le choix du type de fondations et la détermination de leurs dimensions seront alors possibles.

Les critères du choix seront fonction :

- a) de la qualité du terrain
- b) de la valeur des charges et surcharges

- c) du type de bâtiment
- d) du prix
- a) sols de natures différentes b) charges différentes

Types de fondations:

Plusieurs cas peuvent se présenter auxquels devra être adapté le type de fondations. - Bon sol (1) à faible profondeur ou charges et surcharges faibles.

Les fondations seront réalisées par des semelles en gros béton coulé dans des rigoles Elles sont dites « superficielles ».

Dans le cas de charges plus fortes conduisant à des dimensions plus élevées, les semelles seront alors exécutées en béton armé.

Sous les murs, ces fondations sont dites filantes et sous poteaux, on les désigne sous le nom de fondations isolées.

- Le sol présente à faible profondeur une résistance faible au regard des charges qui lui sont appliquées. On peut adopter le principe d'un radier général répartissant les charges sur totalité de la surface de la construction.

Fondation sur radier général

Cette solution peut être également préconisée dans le cas des venues d'eau, surtout si celles-ci sont permanentes. Le radier devra donc aussi résister à la pression et assurer l'étanchéité.

Le bon sol se trouve à plus grande profondeur. Vous aurez recours à des fondations dites « profondes », par puits ou pieux.

Fondation sur pieux ou sur puits

D'une manière générale, il faut penser que les fondations peuvent être en contact avec des eaux agressives: soit séléniteuses (présence de gypse), soit eaux polluées présentes ou à venir. Pour se prémunir contre les risques de détérioration des ouvrages enterrés en béton, il est vivement recommandé de prévoir leur exécution en utilisant du ciment de Clinker (HRS) en remplacement du ciment Portland Artificiel.

Fondations superficielles

Ces fondations sont proches du sol naturel et se trouvent placées directement la structure porteuse (murs ou poteaux).

Fondations sur semelles filantes ou isolées.

Toute structure doit être fondée. L'importance des fondations dépend de deux paramètres : nature du sol, charges à transmettre.

Parmi ce type de fondation on distingue: les fondations par rigole et les fondations par semelle de répartition.

a) Fondations par rigole.

Ce sont des fondations filantes dans un bon sol d'assise sous de faibles charges (maison individuelle). Creusez le sol, à l'aplomb du mur; utilisez si possible un engin mécanique qui réalise une tranchée de la largeur d'un godet de pelle

Le débord d'une semelle ou empattement par rapport au mur qui la surmonte sera au moins de 5 cm
Avec $A \text{ cm} \geq a \text{ cm} + 2 \times 5 \text{ cm}$

Mais la largeur A devra aussi vérifier la condition suivante:

P est la charge amenée par une tranche de 1,00 m de mur et si on désigne par σ_s la contrainte du sol, on a:

$$\sigma_s = P/100 \times A$$

Cette fondation massive n'a, théoriquement, pas besoin d'être armée et peut donc être exécutée en gros béton dosé à 250 kg de ciment par m³ de bétons.

Remplissez directement la rigole de béton coulé assez sec que l'on pilonne par couches successives de 0,20 m environ.

Toutefois ces fondations formant une véritable ceinture périphérique de la construction, il est conseillé d'y placer une armature dite de chaînage en utilisant un béton dosé à 300 kg de ciment au m³ pour assurer une protection efficace des armatures dans le temps.

Avant de placer l'armature dans la rigole, il est très souhaitable d'exécuter un béton de propreté. Le béton de propreté d'une épaisseur de 5 à 10 cm va constituer un fond de fouille propre sur lequel on place les armatures avant de déverser le béton de la semelle.

Cas particulier d'un terrain rocheux

Enlevez les parties superficielles de roche qui s'effritent; assurez-vous bien qu'il n'y ait pas de fissures dans celles-ci, sinon obstruez-les au mortier de ciment.

Ancrer la fondation de 10 cm au moins dans la bonne roche; effectuer le décapage par portions horizontales.

b) Fondations par semelles de répartition

Lorsque les charges sur le mur sont plus importantes les semelles deviennent plus larges, exécutez-les obligatoirement en béton armé.

Ce matériau permet des hauteurs de semelles moindres, toutefois celles-ci doivent être telles que l'épanouissement des efforts du mur dans la masse de la fondation se fasse aisément. On doit avoir:

$$H \text{ cm} \geq \frac{(A - a)}{4} + 5 \text{ cm}$$

4

En admet que les réactions du sol sont uniformément réparties sous la semelle. **c) Fondations isolées ou**

semelles isolées

Elles se situent sous des piliers ou des poteaux. Les charges sont concentrées et souvent importantes

Semelle excentrée sous poteau

Dans ce cas, la charge est concentrée, donc souvent forte.

Si la charge est modérée, agir sur la forme du poteau situé du poteau sur la semelle comme l'indique la figure ci-dessus

Si la charge est forte, l'équilibre est plus difficile à réaliser. Il faut trouver le moyen de recentrer la charge sur la semelle, on y parvient par l'intermédiaire d'une poutre que l'on nomme longrine de redressement. Pratiquement on intègre la longrine dans l'épaisseur de la semelle de rive. Solution plus économique : décalez systématiquement tous les poteaux de rive vers l'intérieur de la construction.

e) longrines

On appelle longrines les poutres situées au droit des fondations. Habituellement leur rôle est d'assurer les liaisons entre semelles, surtout nécessaires sur sol médiocre. Les longrines reposent directement sur le sol de fondation.

Lorsque l'on a un dallage, celui-ci peut éventuellement servir de liaison entre semelles, dans ce cas, il est obligatoirement armé.

Fondations sur radier

Principe

Lorsque le terrain de fondation est médiocre les semelles deviennent très importantes et dans certains cas arrivent même à se chevaucher.

On préfère alors réaliser une fondation unique qui embrasse toute la surface de la construction et que l'on appelle radier :

Le choix du radier se justifie donc :

- pour un terrain médiocre de grande épaisseur lorsque l'on veut éviter l'appui sur le bon sol en profondeur, mais à condition que le terrain soit homogène, qu'il soit inaffouillable, qu'il soit d'épaisseur constante.

Les deux premières conditions sont impératives :

PGC Procédés Généraux de Construction

- le terrain doit être homogène, cela veut dire que le terrain sur toute sa surface et surtout sa hauteur est de même nature et que ses propriétés mécaniques sont identiques, en particulier, il faudra extraire du sol toutes les anciennes fondations.
- Le terrain doit être inaffouillable : souvent le terrain médiocre est constitué d'anciens remblais mis en place pour réaliser une plateforme horizontale dans un terrain en pente ou pour combler une cavité importante
- le terrain doit être d'épaisseur constante, cette condition est très souhaitable Le tassement d'un remblai, par exemple, est très long, il peut se faire sur un période de 15 à 30 ans. Notons qu'il est indépendant des surcharges et charges appliquées sur le terrain, autrement dit que celui-ci soit construit ou non, le tassement existe.

L'important pour le constructeur est que ce tassement soit le même d'un bout à l'autre de la construction.

Cela est le cas pour un terrain homogène médiocre et d'épaisseur constante. Soulignons qu'une construction fondée sur remblai va subir deux types de tassement: d'une part le tassement propre du remblai, d'autre part le tassement dû au poids de la construction.

Une couche de remblais non uniforme peut causé un tassement différentielle. Le même phénomène peut se produire sur un remblai d'épaisseur constante pour une construction chargée dissymétriquement. Dans ce cas le tassement différentiel est dû à une différence de poids importante entre deux points d'un bâtiment. La solution consiste à couper le bâtiment sur toute sa hauteur par un joint de rupture pour créer deux bâtiments indépendants.

Radiers généraux en béton armé

Le radier peut être assimilé à un plancher courant de bâtiment, mais c'est un plancher très chargé qui reçoit l'ensemble du poids de la construction et qui travaille à l'envers. Les charges appliquées (qui sont les réactions du sol) sont dirigées du bas vers le haut. Les dispositions structurales d'un plancher courant se retrouvent : dalles, murs, poutres, poteaux. On distingue:

Le radier plat que l'on trouve sous une structure porteuse par mur continu. On remarque sa disposition simple, c'est une dalle d'épaisseur constante reposant sur le sol par l'intermédiaire du béton de propreté. Les armatures principales sont placées en haut.

Pour le radier sous structure par points d'appui isolés: Il faut alors raidir la dalle du radier par des poutres situées au droit des files de poteau.

Fondations profondes

Lorsque la qualité du terrain à faible profondeur ne permet pas de fonder la construction sans risque de désordres, il faut chercher à reporter les charges sur les couches inférieures plus résistantes, par l'intermédiaire de points d'appui séparés.

Deux solutions s'offrent aux constructeurs:

- puits
- pieux

(Regroupées sous le nom de « fondations profondes »). Ce type de fondations doit être réalisé par des entreprises spécialisées après étude précise par un Ingénieur Conseil.

Fondations sur puits

- Principe: Descendre la charge au bon sol par une colonne

- Réalisation: Exécutez le terrassement à la main ou mécaniquement on blindant si nécessaire. Effectuez le bétonnage à l'aide d'une goulotte pour éviter:

a) la ségrégation que pourrait provoquer une hauteur de chute trop grande. b) le mélange des terres des parois au béton qui conduisent à une baisse de résistance du puits.

Employez un béton de cailloux assez sec au dosage de 250 kg environ de CPA

Si vous vous trouvez en présence d'eaux agressives, employez du ciment de type HRS. Le pilonnage par couches ou la vibration sont recommandés dans la mesure où l'inconvénient ci-dessus (décollements de la terre des parois) peut être évité.

- liaisonnement : Les puits, généralement espacés de 6 à 8 m et résistant mal aux efforts horizontaux, doivent être liaisonnés par des poutres, longrines ou voiles en béton armé dont le rôle peut être également de transporter les charges apportées par la structure (fig. II. 55).

Fondations sur pieux

- Principe: Le pieu reporte sur le terrain l'effort qui lui est appliqué:

- par effet de pointe (en principe sur le bon sol)
- et par frottement latéral sur les couches intermédiaires

On distingue principalement deux techniques de mise en œuvre:

a) les pieux battus

Les pieux battus sont préfabriqués en béton armé et enfoncés ensuite dans le sol par battage jusqu'au refus. Cette technique nécessite l'emploi d'un engin appelé sonnette et portons un mouton (partie mobile venant frapper le pieu)

b) les pieux moulés dans le sol (pieux forés).

- au moyen d'un tube métallique descendu à un niveau de 6 à 10 m d'appui par forage.
- sans tubage, au moyen d'une simple tarière ou grâce aux boues bentonite (dans le cas de chantiers importants)
- sans tubage au moyen d'un cône métallique vibro foncé

Les pieux moulés dans le sol peuvent être ferrailés, mais la présence d'armatures limite la possibilité de compactage du béton.

Avantages et inconvénients des pieux battus et des pieux moulés

Pieux battus :

- les efforts de battage éliminent toute incertitude sur la qualité de la réalisation - la force portante peut être connue par le contrôle du battage

PGC Procédés Généraux de Construction

- le risque de tassements sous charge est faible (frottement mobilisé lors du battage) - leurs parois lisses limitent le frottement négatif
- emploi aisé en présence d'eau
- il peut être difficile de prévoir leur longueur exacte
- la présence locale d'un élément dur (rocher) peut provoquer une cassure - le battage provoque des vibrations susceptibles d'affecter les bâtiments voisins.

Pieux moulés dans le sol:

- leur longueur peut être déterminée exactement et il est aisé d'atteindre de grandes profondeurs
 - leur mise en œuvre n'apporte pas de vibrations aux ouvrages voisins - la réalisation de pieux de diamètre important est possible.
- Très sensibles au frottement négatif (remblais non consolidés en particulier), un chemisage perdu peut être nécessaire, grevant fortement le prix.

Il existe beaucoup de variantes aux méthodes exposées ci-dessus, mais elles sont souvent brevetées et nécessitent un matériel spécialisé.

Liaisonnement des pieux

Plus sensibles encore que les puits aux efforts horizontaux, les pieux isolés doivent être coiffés d'une semelle et liaisonnés entre eux par l'intermédiaire d'une longrine. Les groupes de pieux doivent être reliés par une semelle qui assure la transmission des efforts. Les efforts dans les pieux doivent toujours être axiaux.

Méthodologie et moyens d'exécution des travaux

Implantation des pieux

L'implantation des pieux est réalisée par une station total (distancimètre), en mesure de donner des coordonnées en trois dimensions (X, Y, Z) en tout point du projet. Les implantations sont réalisées à partir

d'un canevas de base établi à partir de 3 points fixes de coordonnées connues et un quatrième point origine dont l'altitude est prédéfinie.

1.1 Forage

1.1.1 Mise en place de la gaine

Les gaines utilisées sont des tubes métalliques de longueur variable dont le diamètre intérieur est supérieur de 10 cm au diamètre nominal du pieu considéré.

Elles sont mises en place par vibrofonçage jusqu'à une profondeur de 6 à 10m leur implantation est centrée sur celle du pieu ; la verticalité de la gaine est suivie tout au long de son enfoncement.

La gaine permet le soutènement des parois à la traversée des remblais superficiels et de la vase molle jusqu'à la profondeur de - 19.50 m environ.

La bentonite (boue de forage) assure la tenue des parois au delà de la gaine, la bentonite est mélangée à l'eau à la dose de 50 Kg au mètre cube

Les caractéristiques de la bentonite demandée à être suivie à sa mise en œuvre, après forage et avant bétonnage.

Les valeurs requises sont :

· Bentonite neuve

- PH \approx 7 à 9,5

- Densité : $1,01 \leq D \leq 1,05$

2010/2011 Boulbaba Koubaa

PGC Procédés Généraux de Construction

- Viscosité : Viscosité Marsh > 35 s

- Teneur en sable nulle

- Filtrat < 30 cm³

- Epaisseur du cake < 3 mm

· Bentonite avant bétonnage

La teneur en sable dans la bentonite avant bétonnage nous renseigne de la qualité du curage du fond du pieu

- Densité $< 1,20$

- 35 s \leq Viscosité ≤ 90 s

- Teneur en sable ≤ 5 %

Des valeurs supérieures peuvent être tolérées sur justification vis à vis de la décantation.

1.1.2 Etapes de forage

Le forage est l'opération la plus importante dans l'exécution du pieu parce qu'elle conditionne en grande partie la réussite de l'exécution du pieu et qu'elle peut se heurter à des difficultés imprévisibles tant d'ordre géotechnique (nature et profondeur des terrains traversés) que d'ordre matériel (aptitude et fiabilité des moyens de forage mis en œuvre)

· **Forage à l'intérieur de la gaine**

Le forage à l'intérieur de la gaine se fait à la tarière et à sec étant donné que la gaine empêche l'arrivée d'eau et cet outil permet un avancement rapide et sans pollution des environs (contrairement au forage sous

bentonite) ce type d'excavation se prolonge jusqu'à deux à trois mètres au dessus de la base inférieure de la gaine.

· Forage sous bentonite

A l'approche de la base inférieure de la gaine on remplit la gaine de bentonite on change d'outil de forage (bucket) et continue le forage on rajoutant au fur et à mesure de l'avancement du forage la boue de bentonite

A la fin du forage on procède au nettoyage du fond du pieu avec une bucket à fond tournant voir à la soupape si c'est nécessaire, afin de régulariser le fond, permettre un bon contact sol béton en pointe et éliminer la totalité des déblais du fond du pieu . Après mise en place de la cage d'armatures nous procédons au recyclage de la boue afin d'élimination les sédiments fin en suspension ou en dépôt au fond du forage On cas d'impossibilité de traversée de couche dure intermédiaire on procède au trépannage afin de percer le banc en question suite à quoi on reprend le forage au moyen des outils habituels jusqu'à l'horizon prévu pour l'ancrage du pieu.

1.1.3 Equipement des pieux

Les pieux peuvent être ferrillés sur toute leur longueur et sont équipés systématiquement par des tubes métalliques destinés à l'auscultation sonique.

2010/2011 Boulbaba Koubaa

Le ferrillage des pieux

Cette étape intervient suite au forage et consiste à mise en place du ferrillage qui est descendu dans le forage par élément de 12 m reliés entre recouvrement sur une hauteur de 60 fois le diamètre des armatures longitudinales soit 1,50 m et des ligatures en fil de fer. Le ferrillage est caractérisé par un fretage par des spires au droit des recouvrements et la zone critique à la base des semelles.

· Tubes d'auscultations

Conformément au DTU 13.2 les pieux sont équipés de trois tubes métalliques deux 50/ 60 et un 102/114, pour les pieux de diamètres 800 les trois peuvent être 50/60 cette disposition a été engendrée par les difficultés de bétonnage de profondeurs importante 60 à 61 m et particulièrement du suivi de la montée de la colonne bétonnée.

1.2 Matériel principal d'exécution

1.2.1 Matériels de forage

3 foreuses type „Soilmec“ R12, R518 et R 312 et divers outils de forage (tarières, buckets etc...)

Foreuse R 518 en cours de forage d'un pieu

1.2.2 Matériels traitement et alimentation en boue de forage

- 2 malaxeurs de bentonite
- 2 déssableurs
- 3 pompes à boue (domine)
- 2 pompes (varisco)

- une batterie de cuves de stockage
- un lot de tubes (boer) pour l'alimentation et la récupération de la boue
- un lot de contrôle de la qualité de la boue (balance barroïde, cône de marsh, élutriomètre etc ...)

1.2.3 Matériels pour mise en place gaine

2 vibrofonceur hydraulique type PTC avec leur pince
Arrachage d'une après bétonnage du pieu

1.2.4 Matériels de manutention

2 grues sur chenilles :

- Une grue "link belt 108 HD"

- Une grue "liebherr"

la grue liebherr pendant la mise en place du tube plongeur pour bétonnage

2. Contrôle qualité

Le contrôle de l'exécution concerne la vérification de la conformité des différentes phases de l'exécution des pieux (forage, niveau d'ancrage, ferrailage et coulage) et des différents matériaux la constituant (acier et béton)

Les documents de référence sont les suivants :

- Le DTU 13.2
- CCTG, Fascicule 62 Titre V, règles de calcul des fondations des ouvrages de génie civil – décembre 1993
 - Les pieux forés recueil des règles de l'art – décembre 1978
- NFP 94-160-1, Auscultation d'un élément de fondation, partie I – Méthode par transparence.

Chapitre III

FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE DU BETON

Pour tout chantier, et quel que soit la composition de béton retenue, il sera nécessaire d'approvisionner, de stocker de doser et de malaxer les constituants du béton selon des méthodes précises à l'aide d'« outils » de fabrication (bétonnières pour les petits chantiers, centrales de chantier, centrales de BPE).

Excepté les chantiers où l'emploi du BPE s'impose (faible quantité de béton, manque de place), c'est l'analyse du coût de revient, entre la fabrication foraine et le BPE qui déterminera la solution retenue.

1. STOCKAGE DES CONSTITUANTS

Il doit être adapté aux besoins du chantier, en évitant aussi bien les ruptures de stock que les sur stockages.

1-1. Le ciment

· Petits chantiers

Conditionné en sacs (NF P 15-300), le ciment doit être stocké sur des palettes disposées sur un sol plat et sec. Les sacs seront protégés de la pluie, des remontées d'humidité du sol, des projections de boue et de tout choc mécanique susceptible de les déchirer. Si plusieurs types de ciment: sont nécessaires, leur stockage sera séparé pour éviter erreurs et mélange.

· Grands chantiers

Livré en vrac par camion-citerne, le ciment est déchargé pneumatiquement et stocké dans des silos (NF P 11-301) verticaux de forme cylindrique (section circulaire ou polygonale) d'une capacité supérieure à 30 t (fig. 1) :

- le corps en construction soudée, pour les petites et moyennes installations, doit respecter le gabarit routier. Une peinture intérieure facilitera la vidange en diminuant les frottements,

- la partie supérieure comporte une cheminée (évent de décompression) équipée en général d'un dépoussiéreur, un trou d'homme avec fermeture étanche, un garde-corps, l'arrivée de la tubulure de chargement (avec raccord type pompier) et des anneaux de levage. - le cône (parfois dissymétrique « cône déjeté » limitant la formation de voûtes) comporte en partie inférieure le dispositif de fermeture (diamètre d'ouverture mini. recommandé = 40 cm), - le piétement en tubes et profilés en acier, - les équipements complémentaires; dispositifs anti-voûte (a) et détecteurs de niveaux (b).

1-2. Les granulats

Il faut éviter tout mélange entre des granulats de natures, d'origines ou de classes granulaires différentes. Une aire, en général bétonnée et légèrement inclinée (écoulement des eaux), sera aménagée comprenant parfois, surtout pour les périodes froides, des canalisations de distribution de vapeur, pour assurer, réchauffage des granulats.

1-3. Les adjuvants

Ils sont stockés dans des bidons ou containers fermés bien identifiés. Les précautions concernant le stockage par temps froid, ainsi que les dates limites d'emploi doivent être scrupuleusement respectées.

1-4. L'eau

Lorsqu'un stock tampon est prévu, il devra rester à l'abri des pollutions (matières organiques, n

2. DOSAGE DES CONSTITUANTS

Le ciment est acheminé du silo à la trémie de dosage, par des vis sans fin (qui assurent un débit régulier) à l'abri de l'humidité ambiante, ou, par transport pneumatique. Le dosage pondéral (préférable au dosage en volume) est :

- mécanique: la trémie emplie de ciment, portée par un fléau déclenche l'arrêt de l'arrivée de ciment lorsque le poids requis est atteint,
- ou bien électronique : le fléau classique est remplacé par une jauge de déformation. Les granulats sont repris par skip, dragline ou par bras raclant et acheminés jusqu'à la doseuse par bande, tapis ou directement par « bec verseur ». La teneur en eau des granulats doit être

mesurée de façon continue à l'aide de sondes (capacitives, par résistivité, à neutrons) moyennant un étalonnage.

Le dosage en eau de gâchage sera effectué, par des compteurs volumétriques ou pompes doseuses, déduction faite de l'apport d'eau contenue dans les granulats.

Le choix d'une bétonnière ou d'un malaxeur dépend de sa capacité de production, de son aptitude à malaxer différents types de mélanges (secs, plastiques, caverneux, pleins) pour donner des bétons réguliers adaptés aux besoins d'un chantier.

1. BÉTONNIÈRES

Le mélange des constituants est obtenu par simple rotation de la cuve autour d'un axe horizontal ou légèrement incliné. Des palettes solidaires de la cuve entraînent les matériaux qui retombent par gravité.

·**Bétonnières à axe incliné ou à cuve basculante**

Envisageables pour des gâchées n'excédant pas 500 litres et pour des bétons plastiques de qualité moyenne, leur axe peut avoir différentes inclinaisons selon l'opération en cours (rem plissage, malaxage ou vidange). Le brassage des éléments s'améliore pour une faible inclinaison de l'axe sur l'horizontal (sans excéder 25 à 30°). Le malaxage est facilité si l'on introduit le gros granulats en dernier.

est obtenue en faisant basculer la cuve autour d'un axe horizontal.

·**Bétonnières à axe horizontal (cylindro-coniques)**

Pour des gâchées supérieures à 500 litres, le poids des matériaux rend impossible l'utilisation d'un tambour basculant. L'axe de rotation reste donc horizontal, ce qui augmente le volume de la cuve, comparativement aux précédentes, à production équivalente. Ces appareils, plus lourds, plus coûteux et plus robustes permettent un malaxage et sont de meilleure qualité. Ils

comportent, en général, deux ouvertures, l'une pour l'arrivée des matériaux, l'autre pour la vidange, obtenue par inversion du sens de rotation ou parfois par basculement d'une goulotte. Le béton est en général de meilleure qualité qu'avec des bétonnières à axe incliné, mais: -plus il est ferme, plus la vidange est longue et incomplète,

- plus la durée de malaxage est longue, plus la queue de gâchée est riche en gravillons et pauvre en sable, - la queue de gâchée est toujours plus pauvre en eau, sauf pour des durées de malaxage très faibles (quelques secondes).

Les bétonnières (à axe incliné ou horizontal) peuvent être équipées de dispositifs de chargement (chargeur relevable), de dosage en eau et de roulements pour leurs déplacements. ·**Bétonnières portées:**

Auto bétonnières (petites bétonnières portées montées sur châssis autotractés) : certaines disposent de leur propre système d'alimentation en constituants. Le béton peut être déchargé à son lieu d'utilisation (petits chantiers de VRD, équipement de chaussées, fondations de maison individuelle).

2. MALAXEURS

Les palettes, animées de mouvements relatifs, assurent une homogénéité du mélange, supérieure à celle obtenue avec bétonnières, grâce au déplacement relatif des composants à l'intérieur du mélange et de la cuve (auge).

La plupart des malaxeurs sont à axes verticaux (fig. 2) et les déplacements sont essentiellement horizontaux. Dans les malaxeurs à axes horizontaux (fig. 3), le béton est soumis à des élévations, des chutes et des mouvements horizontaux) inverses dus aux formes des palettes hélicoïdales. Ces appareils, équipés, de moteurs 2 à 3 fois plus puissant que les bétonnières (à volumes égaux de béton malaxé), sont plus coûteux et consomment plus d'énergie.

Ils sont intéressants pour des débits de béton importants, des productions variées et des productions de qualité (faible dispersion des résistances).

3. PARAMÈTRES DE MALAXAGE (fig. 4)

4. CHOIX DES ENGINS DE MALAXAGE (fig. 5)

Les centrales à béton mobiles compactes, au gabarit routier connaissent un essor important. Transportables, montées sur remorques, elles se mettent en place sans génie civil, tout en étant dotées d'automatismes et de pesages de haute précision. Équipées de bétonnières à axe horizontal ou de malaxeurs à axe vertical, elles ont des capacités de débit de 8 à 150 m³/h (voire 200 m³/h pour des centrales de BPE).

5. CENTRALES DE CHANTIER « BÂTIMENT » (fig. 1)

5-1. Caractéristiques et fonctionnement

- **Mise en service et repliement très rapides.**
- **Production horaire :** 6 à 40 m³/h, sans intervention humaine après la mise en route journalière.

L'opérateur affiche sur un tableau de programmation les quantités des différents constituants puis enclenche le fonctionnement automatique donnant le départ du cycle. Ces centrales peuvent également fonctionner en manuel.

Les granulats, stockés en étoile (fig. 2) et chargés par bras raclant (1 à 5 selon les modèles et les fabricants), sont déversés directement dans une bétonnière auto chargeuse ou dans leur trémie de pesage pour être acheminés par un tapis d'alimentation dans la bétonnière. Le ciment stocké en silos (deux au maximum) est chargé, par l'intermédiaire d'une vis incorporée au silo, dans une trémie de pesage et acheminé par une vis à ciment vers la bétonnière.

Certaines centrales sont équipées de panier porte benne coulissant qui, en fin de course, déclenche l'inversion du sens de rotation de la cuve qui se vide alors dans la benne. Dans ce cas, le cycle, (dosage, transfert des granulats, malaxage et vidange) se répète automatiquement par la seule intervention du grutier qui dépose la benne.

La centrale est assise sur une plate forme (fig. 3) (terminée huit jours avant l'installation) constituée par un radier en BA (épaisseur et constitution à déduire des charges et de la nature du sol).

5-2. Critères de choix

- **Seuil de rentabilité** de la centrale à béton par rapport au BPE fonction de la quantité de béton (1 000 à 2 000 m³),
- **Rendement journalier,**
- **Portée maximale de la grue:** fixée avant le choix de la centrale, elle limite le volume par benne et par gâchée,

Prendre aussi en compte:

- la grande souplesse d'utilisation (pas de temps d'attente éventuels dans le cas du BPE), - le temps de montage : 1 à 2 jours selon les modèles (en fonction du nombre de rayons raclants et de silos),
- la mise en place du matériel
- les caractéristiques de l'installation électrique

6. CENTRALES DE CHANTIER DE TRAVAUX PUBLICS

Les matériels sont plus puissants mais doivent rester malgré tout transportables au gabarit routier

Le stockage des granulats se fait :

- en étoile à compartiments séparés par des murs et alimentation par dragline (fig. 3),
- ou dans des trémies en ligne avec alimentation par chargeur à l'aide de rampes sur un ou deux côtés ou par tapis peseur (fig. 4).

Les opérations sont gérées à partir d'une cabine de commande équipée d'un pupitre où, sur un tableau synoptique on visualise à chaque instant l'état de l'installation en fonction du déroulement des opérations. Les panneaux de commande sont répartis par fonction. La fabrication peut être assurée selon trois modes de fonctionnement: commande presse-bouton ou automatique, ou isolement des commandes et blocage de la séquence automatique en cours.

7- TRANSPORT DU BETON

Au cours du transport, deux phénomènes peuvent survenir et compromettre la qualité de l'ouvrage à réaliser:

- la ségrégation du béton due aux secousses et vibration.
- le raidissement du béton qui est provoqué par le début de la prise

Le béton doit aussi être protégé vis-à-vis des agents atmosphériques :

- le vent ou le soleil provoque une déshydratation en surface
- la pluie risque de délayer le béton frais.

La température a une incidence sur le temps de prise. Une augmentation de 10°C peut diviser le temps de prise par deux.

Le délai de transport, temps entre la fabrication de la gâchée et la mise à disposition du béton sur le chantier, est de 1 h 30, pour une température inférieure ou égale à 20°C. Pour une température de 10°C, il faut réduire ce temps par deux.

Le béton doit avoir pris sa forme définitive au plus tard deux heures sa fabrication à la centrale ($t = 20^{\circ}\text{C}$). La mise en place dans les coffrages doit se faire dans les 30 minutes suivant l'arrivée du béton.

7.1. TRANSPORT DU BETON DE LA CENTRALE DE BETON PRET A L'EMPLOI (BPE) AU CHANTIER

7-1.1 Camions bennes

Ils sont utilisés pour transporter du béton ferme (ou béton sec, faible affaissement au cône d'Abrams) sur une distance maximale de 30 km. Le béton est alors protégé des agents atmosphériques par une bâche.

7.1.2. Bétonnières portées ou camions toupies

Elles permettent le transport du béton sur une distance maximale de 50km. Elles se composent d'un châssis automoteur, d'une cuve tournant sur un axe légèrement incliné par rapport à l'horizontale (10 à 15°), dispositif d'entraînement de cette cuve et d'une réserve d'eau (0,4 à 1 m³).

La cuve est de forme cylindro-conique. Son volume est environ égal à 1.7 fois le volume de béton pour lequel elle est prévue.

Dans la cuve, une pale ou une lame d'acier, formant vis, déplace le béton en translation quand la cuve est en rotation. Selon le sens de rotation, le béton est déplacé vers le fond de la cuve lège de la cuve et malaxage ou homogénéisation du vers la sortie (vidange de la cuve). La vitesse de rotation de la cuve est de 1 à 2 tours par minute pendant le transport (agitation) et de 10 tr/min en brassage (pour une ré homogénéisation).

La capacité classique des camions toupies est de :

- 6m³pour les plus courants,
- 9 à 12 m³avec la cuve placée sur remorque.

A l'heure actuelle, 95 % des centrales de béton prêt à l'emploi du type central de malaxage, le rôle du camion est réduit à celui du transport et accessoirement celui d'homogénéisation du béton.

La réserve d'eau est utilisée pour le nettoyage de la cuve.

La réhomogénéisation (après transport ou incorporation de fluidifiant) est obtenue en augmentant la vitesse de rotation de la cuve (brassage) pendant 1 à 2 minutes. En sortie de la cuve, on évite toujours d'utiliser les 50 premiers litres.

Certaines bétonnières portées sont équipées d'accessoires facilitant la mise en œuvre sur le chantier:

- tube de 4 à 5 m pour mise en œuvre en contrebas de béton fluide
- tapis transporteur articulé en trois éléments, longueur développée 18 m maximum, déchargement jusqu'à 10 m du camion sur une hauteur de 5 à 6 m, (attention au risque de ségrégation en sortie de tapis),
- pompe à béton, avec ou sans flèche de distribution, distance de transport horizontal 200 m, verticale 80 à 100 m.

·Recommandations

- Précautions à prendre contre les risques de ségrégation du béton :
 - * limiter la hauteur de chute du béton : hauteur < 3 m,
 - * utiliser un tuyau souple en sortie de benne: diamètre standard 200 mm, longueur 1,50 m et plus.
- Le béton utilisé dans les bennes à tuyau doit être fluide, l'affaissement minimum au cône sera de
 - * 5 à 6 cm pour des granulats roulés,
 - * 7 à 8 cm pour des granulats concassés.
 - * 14 à 18 pour les dallages industriels
 - * 18 à 22 pour les pieux

8. POMPES À BÉTON

Quand les grues sont saturées ou quand les accès par des bennes distributrices sont difficiles (travaux souterrains), on a recours au pompage du béton.

Cette technique permet le transport et la distribution du béton sur de grandes distances et à des grandes hauteurs.

8-1. Principes

On dispose d'une trémie dans laquelle est versé le béton, d'un système de pompage et de tuyaux d'acier jusqu'au lieu de bétonnage.

Les pompes sont de deux types :

- Pompe à écrasement de tube flexible,
- pompe à pistons

·**Le pompage par tube flexible** est assuré par l'écrasement d'un tuyau souple par des galets en caoutchouc, entraînés par une chaîne ou un rotor. Ce système est utilisé pour des pompages courts (longueur 50 m, dénivelé 10 m) et des débits de l'ordre de 15 m³/heure.

·**Les pompes à pistons** sont constituées par deux pistons travaillant en opposition. Un cylindre refoule le béton dans les tubes alors que l'autre aspire le contenu de la trémie d'alimentation. Un système de distribution par tube orientable assure la continuité du pompage.

8-2. Matériel

La pompe peut être fixe, utilisée à demeure sur le chantier, ou montée sur un camion . L'installation de distribution est aussi fixe ou mobile grâce à une flèche de pompage.

7-2.1. Système mobile

Sur certain camion- pompe, les tuyaux liés à un mât articulé permettent un bétonnage à des distances importantes (fig. 4).

Pour d'autres chantiers, on utilise un mât, monté sur une colonne tubulaire ou encore sur un fût de grue (fig. 5).

7-2.2. Réseau fixe

Les tubes utilisés pour réaliser le réseau de distribution sont en acier, d'épaisseur 4,5 à 10 mm selon la pression de pompage, de longueur 1, 2, 3 et 6 m. Les diamètres classiques sont 100, 125 et 150 mm. Leurs extrémités sont munis de collerettes mâle et femelle qui, à l'aide d'un collier, permettent un accouplement aisé et étanche.

Des coudes à 90, 60, 45, 30 ou 15° servent aux changements de direction (rayon des coudes : 25 cm). Des aiguillages rendent possible la distribution en différents points. Les tubes doivent être rigidement liés au support sur lequel ils reposent.

En fin de réseau, ou en extrémité de mât, le béton est mis en place dans les coffrages par un flexible spéciale.

54

Le bétonnage terminé, un soin important doit être pris pour le nettoyage de la pompe et du réseau. Un premier nettoyage est fait à l'eau, puis une boule de mousse est alors poussée, par de l'eau ou de l'air, dans les tubes.

8-3. Caractéristiques et dimensionnement d'une pompe

Pour un constructeur donné, le choix dépend:

- du débit de béton en m³ par heure,
- du diamètre des tuyaux de distribution,
- de la longueur des tuyaux et de la hauteur à franchir,
- de l'ouvrabilité du béton à mettre en œuvre.

Pour tenir compte de la perte de charge dans les angles, on compte chaque coude pour une longueur de tuyau supplémentaire: un angle de 10° correspond à 1 m de tube horizontal.

9. MATÉRIEL DE VIBRATION

9-1. Vibration interne (pervibration)

Elle s'effectue à l'aide d'une aiguille vibrante, constituée d'un cylindre métallique dans lequel tourne une masselotte excentrée. Cette masse est mise en rotation par l'intermédiaire d'un système:

- mécanique: un flexible transmet le mouvement d'un moteur (thermique ou électrique) à l'aiguille,
- pneumatique: un tuyau amène l'air comprimé jusqu'à l'aiguille,
- électrique: un moteur électrique muni d'une masselotte est incorporé dans l'aiguille reliée par câble à une source de courant.

L'aiguille vibrante étant plongée verticalement dans le béton frais, la vibration et le serrage du béton concernent un cylindre de béton dont le rayon est appelé rayon d'action de l'aiguille. Il dépend du diamètre de l'aiguille.

Le temps de vibration optimal correspond à la fin du dégagement des bulles et à l'apparition de la laitance en surface.

·Recommandations:

- la distance entre les points de vibration est donnée.
- Eviter de vibrer près de la peau du coffrage.

- Munir les armatures de cales pour éviter leur déplacement pendant la vibration. - Epaisseur des couches de béton de 40 à 50 cm.
- Faire pénétrer le vibreur de 10 cm dans la couche inférieure.

9-2. Vibration externe

9-2.1. Vibration du coffrage

Ces vibreurs, fixés aux coffrages, sont utilisés :

- en préfabrication,
- sur le chantier pour des coffrages compliqués en complément de la vibration interne. Ce type de vibreur est le plus souvent constitué d'un axe et d'une masselotte excentrée. L'énergie de vibration est réglable:
- en agissant sur la vitesse de rotation, entre 1000 et 3000 tours par minute,

57

- en modifiant l'excentrement des masselottes.

9-2.2. Vibration de surface

Ces règles vibrantes, constituées d'un ou deux profilés métalliques rigides équipés d'un vibreur thermique, électrique ou pneumatique, servent à compacter le béton sur une épaisseur de 10 à 20 cm.

Ce matériel est utilisé pour les dalles (dallage, plancher, dalle de pont, etc.) réalisées en déplaçant la règle sur deux rails de niveau assurant la planéité.

On obtient des surfaces régulières et assez bien finies.

9-3. Surfaçage et finition

On surface les dalles à l'aide d'une talocheuse (lisseuse rotative, truelle mécanique). Son poids est compris entre 60 et 80 daN.

Cet appareil, constitué d'une hélice à 3 ou 4 pales, est entraîné par un moteur thermique ou électrique (70 à 110 tr/min).

L'appareil est mis en action quand le béton commence à faire prise. La laitance remonte et les pales referment les pores du béton. On obtient ainsi un excellent fini.

10. CURE DU BETON

Dans le béton, une partie de l'eau est utilisée pour la réaction chimique, une autre partie est libre et va s'évaporer au cours du temps. Une déshydratation trop rapide des surfaces est néfaste.

Les zones non coffrées doivent être traitées rapidement après bétonnage, au moment où le béton perd son eau de ressuage. Les zones coffrées sont protégées par le coffrage, sauf si le décoffrage est effectué rapidement (8 à 48 heures), ce qui correspond alors au cas des surfaces non coffrées.

10-1. Méthodes de cure

10-1.1. Cure par ré humidification

Ce type de cure, à éviter en cas de gel, est réalisé par:

- arrosage du béton ou réalisation d'un brouillard dans une enceinte enveloppant l'ouvrage,

- mise en place de toiles perméables humidifiées en permanences.

10-1.2. Cure par protection imperméable

Deux solutions se rencontrent sur les chantiers:

- l'ouvrage est habillé de bâches étanches,

- le béton est recouvert d'un produit de cure: un film est réalisé par projection sur l'ouvrage. **10-2. Durée de cure**

Elle est fonction de l'atmosphère ambiante, donc de la température, du vent, de l'ensoleillement ainsi que du type de ciment mis en œuvre.