

UNIVERSITÉ ABOUBEKR BELKAÏ D
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL

SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

2.3. Béton :

2.3.1. Fabrication et transport :

i., Malaxage des constituants : le malaxage est une phase importante de la fabrication du béton, car il va conditionner la qualité de son homogénéité. Pour assurer la réussite de cette opération, il faut choisir un matériel adapté et déterminer un temps de malaxage suffisant.

a-, le matériel de malaxage : le choix d'un appareil (bétonnière ou malaxeur) dépend de sa capacité de production, de son aptitude à malaxer différents types de mélanges (secs, pleins, plastiques) pour donner des bétons réguliers.

Les bétonnières.

Ce sont des appareils qui assurent le mélange des constituants par simple rotation de la cuve suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement incliné. Des palettes solidaires de la cuve assurent l'entraînement des matériaux qui retombent par gravité. Ce mouvement de brassage assure le mélange des constituants.

Les bétonnières sont simples, robustes et plus particulièrement adaptés aux petits débits de production. La capacité de la cuve varie de 50 à 100 litres pour les plus petites pour atteindre 1 m³ et plus pour les bétonnières à axe horizontal. La vidange de la cuve se fait par basculement, ou par inversion du sens de rotation.

Camions malaxeurs, avec pompe à béton, tapis-transporteur ou goulotte



Les malaxeurs.

Ces appareils assurent une homogénéité du mélange supérieure à celle obtenue avec les bétonnières, grâce au déplacement relatif des composants à l'intérieur du mélange. Ce déplacement est provoqué par des trains de palettes ou de planétaires dont l'axe est excentré par rapport à celui de la cuve, qui est elle-même fixe ou tournante.

La plus part des malaxeurs sont à axe verticaux. Le béton subit un puissant effet de brassage à la fois de le sens vertical et dans le sens horizontal.

Ce type de matériel est le mieux adapté à l'obtention de bétons de qualité très homogènes.

Les paramètres du malaxage.

Une fois déterminé l'appareil adapté au béton à réaliser, le malaxage, pour être efficace, doit prendre en compte certains paramètres :

- l'ordre d'introduction des composants,
- la vitesse de rotation de la cuve,
- le temps de malaxage

L'ordre d'introduction idéal est parfois difficile à réaliser du fait du remplissage discontinu de la cuve par chargeur, qui ne facilite pas une introduction simultanée et progressive des constituants.

Avec un malaxeur, on considère comme préférable, lorsque c'est possible, d'introduire le ciment et l'eau qui assure son mouillage, puis le sable -pour constituer le mortier- et enfin les gravillons. Les adjuvants étant préalablement dilués dans une partie de l'eau de gâchage.

Avec une bétonnière, l'introduction d'une partie des gravillons avec une partie d'eau assure le lavage de la cuve. Le ciment, le reste de l'eau et le sable sont introduits ensuite. Les gravillons restants sont introduits en dernier. La vitesse de rotation des appareils est de l'ordre de 20 à 30 tours/minute, et diminue avec le diamètre de la cuve. Le temps de malaxage est de l'ordre de 1 à 2 mn, mais il peut être inférieur avec des malaxeurs efficaces à axe vertical (40 à 60 secondes). Par contre, les bétons très fermes ou riches en éléments fins peuvent nécessiter des durées de malaxage plus longues : 2 à 3 mn.

ii., Transport du béton : le transport du béton frais jusqu'au lieu de coulage fait appel à des matériels très différents, selon qu'il s'agit de parcourir de courtes distances sur un chantier ou qu'il doit être acheminé depuis une centrale de fabrication, parfois éloignée de plusieurs kilomètres.

A cet effet, des camions à bennes fixes ou des bétonnières portées type toupies assurent le malaxage pendant le transport.

La capacité de ces bétonnières portées varie de 4 à 10 m³. Le temps de transport doit être limité à 45 mn environ, surtout par temps chaud.

Le risque rencontré est une chute de la maniabilité du béton. L'emploi de retardateurs de prise et de plastifiants a néanmoins permis de résoudre en grande partie ce type de difficultés.

Le transport par benne.

Sur le chantier même, le matériel le plus utilisé est la benne à béton, dont la forme et les dimensions sont très variables. Elle est remplie par le haut, et vidée en partie basse par ouverture mécanique ou pneumatique d'une trappe. La commande d'ouverture peut être faite à distance.

La partie inférieure de la benne est souvent munie d'un manchon qui permet de diriger la coulée de béton et de limiter la hauteur de chute, génératrice de phénomène de ségrégation.

La benne est acheminée sur le site de bétonnage par chargeur, grue ou même hélicoptère dans les cas difficiles.



Le transport par pompage.

Le pompage du béton est une technique qui se développe rapidement car il permet une importante productivité, la limitation du temps d'attente avant la mise en place du béton, la possibilité d'assurer l'approvisionnement sur des sites difficiles d'accès, la mise en place de quantités importantes en une seule coulée.

Le camion pompe équipé de flèches allant jusqu'à 60 m, peut envoyer le béton directement de la toupie au lieu de coulage. L'évolution rapide des bétons pompés permet ainsi d'atteindre des longueurs de transport de 300 à 400 m, jusqu'à 100 m et plus en hauteur. Le béton est envoyé dans des tubes de 150 à 200 mm de diamètre, sous une pression pouvant dépasser 10 MPa. Les débits courants sont de 15 à 20 m³/h; ils peuvent atteindre 100 m³/h pour les matériels les plus efficaces. Les progrès atteints avec les plastifiants permettent d'obtenir ces résultats et notamment avec les bétons de hautes performances.



Les règles à respecter lors du transport.

Le matériel utilisé pour le transport du béton doit être fréquemment nettoyé à l'eau pour ne pas introduire des corps étrangers ou des déchets dans le béton.

Par ailleurs, le matériel sera tel que la hauteur de chute du béton lors du coulage, ou les chocs mécaniques durant la manutention, ne soient pas de nature à créer des problèmes de ségrégation dans le béton.

La durée de transport du béton doit être limitée en fonction des conditions ambiantes de température, d'hygrométrie ou de vent. Elle ne peut dépasser 1h30 en ce qui concerne le transport en camion-toupie.

Le béton fabriqué sur le chantier doit être mis en œuvre moins de 30 mn après sa confection

2.3.2. Les coffrages de chantier :

i., le rôle du coffrage : une propriété essentielle du béton est son aptitude à épouser la forme dans laquelle on le verse lorsqu'il est encore à l'état frais.

Sur chantier, les formes utilisées pour le moulage du béton sont les coffrages. Pour les ouvrages verticaux tels que les murs, voiles verticaux, poteaux, ces coffrages appelés banches ont donné lieu à l'expression "béton banché", qui désigne le béton coulé dans des banches.

Le coffrage constitue l'outil essentiel en matière de réalisation d'ouvrages en béton.

La conception des coffrages.

Si le choix des coffrages dépend de l'ouvrage à réaliser et du nombre de ses réemplois, on peut néanmoins dégager un certain nombre d'exigences communes qu'ils doivent satisfaire.

i., indéformabilité et stabilité : un coffrage doit être indéformable sous l'effet de la poussée du béton et lors de la vibration. Le respect des tolérances dimensionnelles de l'ouvrage dépend directement de ce critère.

La conception de l'ouvrage doit donc s'attacher à respecter cette indéformabilité et cette instabilité en considérant la pression statique exercée par le béton (dans les cas courants 2 à 6 t/m² selon la hauteur du bétonnage) et les contraintes dynamiques qui découlent de la vibration (qui varient selon le mode de vibration et selon le type de vibrateurs et de leur répartition).

La conception est fonction du nombre de réemplois. En particulier l'altération de certains types de coffrage (bois notamment) est de nature à modifier leurs caractéristiques mécaniques et dimensionnelles ainsi que l'aspect du béton.

ii., Etanchéité : un coffrage est constitué par la juxtaposition de panneaux ou éléments; l'absence d'étanchéité aux joints a pour effet de laisser passer l'eau ou la laitance du béton, ce qui provoque sur le parement des défauts d'aspect : hétérogénéité de texture, de teinte, nids de cailloux.

Pour les bétons destinés à rester apparents, l'étanchéité des coffrages doit être particulièrement soignée.

iii., Etat de surface : un coffrage est le négatif de l'ouvrage à réaliser, tout défaut de surface se retrouvera donc sur le parement de l'ouvrage. Si un effet décoratif peut être recherché volontairement en utilisant par exemple le veinage des planches ou leur assemblage, il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit de défauts tels que trous, déformations de surface dues à des chocs, désaffleurements.

Différents types de coffrages.

i., *coffrages en bois* : matériau sciable et clouable, le bois est l'un des premiers matériaux utilisés pour la réalisation de coffrages. Du fait de sa texture et de ses possibilités d'assemblage, le coffrage bois présente de nombreux avantages pour les bétons apparents structurés et pour les ouvrages de formes complexes et non répétitives.

Les planches utilisées pour le coffrage doivent être suffisamment épaisses (27 à 40 mm) pour éviter un gauchissement, tirées d'essences de bois exempts de tanin, secs et stabilisés. Pour certaines applications, on utilise des bois poncés, rabotés ou traités pour mettre le veinage en valeur. Ces coffrages, dont l'exécution s'apparente parfois à l'ébinisterie, permettent la réalisation de bétons apparents de qualité, présentant des textures variées.

Coffrage tunnel demi-coquille.



Les caractéristiques du bois se modifient au cours des réemplois (porosité plus faible, usure de la surface); ces modifications peuvent avoir une influence sur la teinte et l'aspect du parement.

Pour les surfaces importantes et planes, le coffrage peut être réalisé en panneaux de contreplaqué. Mais le contreplaqué est également utilisable pour les petits éléments de forme complexe, du fait de sa facilité de découpe. Pour un grand nombre de réemplois, on utilise surtout des panneaux de contreplaqué imperméable en épaisseur de 16 à 19 mm, dont la surface peut être bakélisée pour augmenter encore sa longévité.

ii., coffrages métalliques : sont beaucoup utilisés dans le secteur du bâtiment, compte tenu de leur rapidité de mise en œuvre et d'assemblage. Ils permettent de rationaliser la mise en œuvre du béton et contribuent à l'amélioration de la productivité du chantier.

Leurs possibilités de réemploi sont appréciables pour des éléments à caractère répétitif : ex. voiles verticaux, planchers. L'utilisation de raidisseurs permet la réalisation d'éléments de grande surfaces. Ce type de coffrage, bien que lourd, a su évoluer en fonction des besoins :

- Coffrages modulaires,
- Coffrages repliables pour le transport,
- Coffrages glissants, grimpants, à géométrie variable (réfrigérants),
- Coffrages tunnels pour les programmes d'une certaine ampleur (plus de 50 logements) utilisant une trame déterminée,

La nature imperméable de l'acier donne au béton une surface lisse. Aussi, la bonne conductibilité de l'acier favorise la dissipation de chaleur due à l'hydratation du ciment ; c'est un critère favorable par temps chaud.

A l'inverse, par temps froid, le béton est moins bien protégé contre des chutes de température, ce qui peut alors nécessiter un calorifugeage du coffrage. Compte tenu de sa rigidité ce type de coffrage est bien adapté à la vibration externe du béton par vibrateurs.

iii. Coffrages plastiques : les matériaux de synthèse sont surtout utilisés pour réaliser la peau du coffrage; ils apportent une bonne qualité de parement et se démoulent facilement.

Ce type de coffrages est intéressant pour l'obtention de reliefs variés, grâce à des matrices thermoformées en PVC ou en polyéthylène, ou à des matrices sculptées en polystyrène expansée. Le plastique est également utilisé pour la réalisation de coffrages modulaires de petites dimensions (0,5 à 1 m²) manipulables à la main.

Coffrage transportable modulaire en plastique moulé.



Préparation des coffrages.

La préparation des coffrages porte principalement sur :

i., vérification du positionnement et la stabilité :

Sur la plus part des coffrages, des cales, des taquets ou des vérins permettent une mise à niveau et un assemblage qui doivent être vérifiés avec soin. Les étais, assurant la stabilité au vent, doivent être correctement fixés et réglés.

ii., étanchéité :

Elle est directement liée au bon positionnement des éléments constitutifs du coffrage et à leur assemblage. L'emploi de joints souples et de couvre joints constitue une solution efficace.

iii., nettoyage :

Il faut veiller à éliminer tout ce qui peut constituer une source de salissures ou d'altération du béton : boulons, déchets végétaux, etc.; l'eau stagnante doit être évacuée.

iv., préparation de la surface :

Après nettoyage et enlèvement de toute trace de béton adhérent, le produit de démoulage doit être appliqué de façon régulière sur toute la surface, sans excès.

Produits de démoulage.

Pour limiter les phénomènes d'adhérence, on utilise des produits de démoulage qui ont plusieurs fonctions : protéger la surface coffrante en vue de son réemploi, faciliter l'entretien du coffrage, limiter l'oxydation et la corrosion des coffrages métalliques, imperméabiliser les coffrages à base de bois.

Les produits de démoulage, qui étaient à l'origine essentiellement des huiles minérales, se sont beaucoup développés et diversifiés. On trouve des émulsions, des résines, des cires et des agents chimiques qui s'opposent aux réactions de liaison à l'interface béton/coffrage.

Le choix du produit de démoulage et sa bonne application ont une grande influence sur la qualité du parement, en particulier sur la teinte et le bullage.

Les produits de démoulage doivent aussi :

- ne pas adhérer au béton après sa prise, ni le tacher ou l'altérer,
- permettre l'application ultérieure de revêtements (carrelage, peinture) sans nuire à leur adhérence.

L'application du produit de démoulage à la brosse ou par pulvérisation doit être faite de façon uniforme, en un film mince, sans défaut ni excès.

Incidence des principaux paramètres liés aux coffrages et aux produits de démoulage sur la qualité du béton

PARAMÈTRES	CONSÉQUENCES	DISPOSITIONS A PRÉVOIR
1. Les coffrages <ul style="list-style-type: none"> • Rigidité insuffisante. • Défaut d'étanchéité. • Peaux de coffrage : à surface absorbante à surface oxydée. 	<p>Non-respect des tolérances dimensionnelles, ségrégation, bullage.</p> <p>Nids de cailloux par départ d'eau ou de laitance.</p> <p>Teinte du béton plus foncée.</p> <p>Taches, traces de rouille.</p>	<p>Conception :</p> <ul style="list-style-type: none"> - raidisseurs de coffrages ; - épaisseur de la peau. <p>Emboîtement des panneaux. Bandes de joints et couvre-joints étanches.</p> <p>Saturation en eau du coffrage. Produits de démoulage imperméabilisants.</p> <p>Nettoyage. Produit de démoulage anticorrosion.</p>
2. Les produits de démoulage <ul style="list-style-type: none"> • Répartition inégale. • Excès. • Parties non traitées. 	<p>Variations de teinte.</p> <p>Taches sur le béton.</p> <p>Arrachement au décoffrage.</p>	<p>Soin dans l'application, surtout sur les parties verticales.</p> <p>Emploi de produits se fixant mieux sur les parois : cires, agents chimiques de démoulage.</p>

2.3.3. La vibration du béton sur chantier :

i., le rôle de la vibration : La vibration appliquée au béton frais a pour fonction de favoriser l'arrangement des grains qui sont les constituants du béton. Son rôle est double : la mise en place est facilitée : remplissage des moules, enrobage des armatures,

Le béton obtenu présente une compacité plus forte, avec moins de vides d'air (effet de serrage).

Par voie de conséquence, il est possible de faire des bétons avec un taux d'eau de gâchage plus faible, ce qui a pour effet de diminuer leur porosité, d'accroître leurs caractéristiques mécaniques et leur durabilité et d'améliorer leur aspect de surface.

Pour la mise en place de béton de petits ouvrages, il arrive que l'on utilise des moyens manuels de serrage, tels que le piquage, le damage, dont les effets, permettent d'obtenir une compacité satisfaisante du béton.

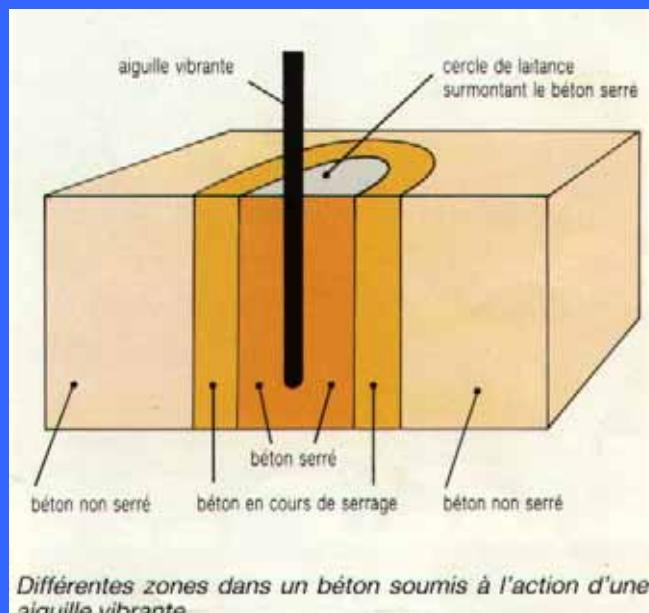
ii., comment agit la vibration ? La vibration transmise aux grains constituant le béton, se traduit par un déplacement de ceux-ci, selon un mouvement alternatif rapide et de faible amplitude.

Ces mouvements internes développent des forces susceptibles de faciliter l'arrangement optimal des grains. Sous l'effet de forces dues à la pesanteur et à la pression exercée par la masse du béton, les grains tendent alors à adopter une disposition plus compacte, les grains les plus fins s'insérant entre les plus gros.

Soumis à la vibration, l'énergie absorbée par le béton est d'autant plus grande que sa structure est plus aérée, les bulles d'air jouant un rôle d'amortisseur. Une fois serré, le béton absorbe moins d'énergie et en transmet plus.

On constate autour d'une aiguille vibrante plongée dans le béton, une succession de zones concentriques :

- 1- la zone périphérique déjà serrée et désaérée;
- 2- une zone en cours de plastification qui absorbe la totalité de l'énergie au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source vibratoire,
- 3- une zone qui n'est plus accessible à la vibration, car elle ne reçoit pratiquement plus d'énergie. Les deux premières zones constituent le rayon d'action de l'aiguille vibrante.

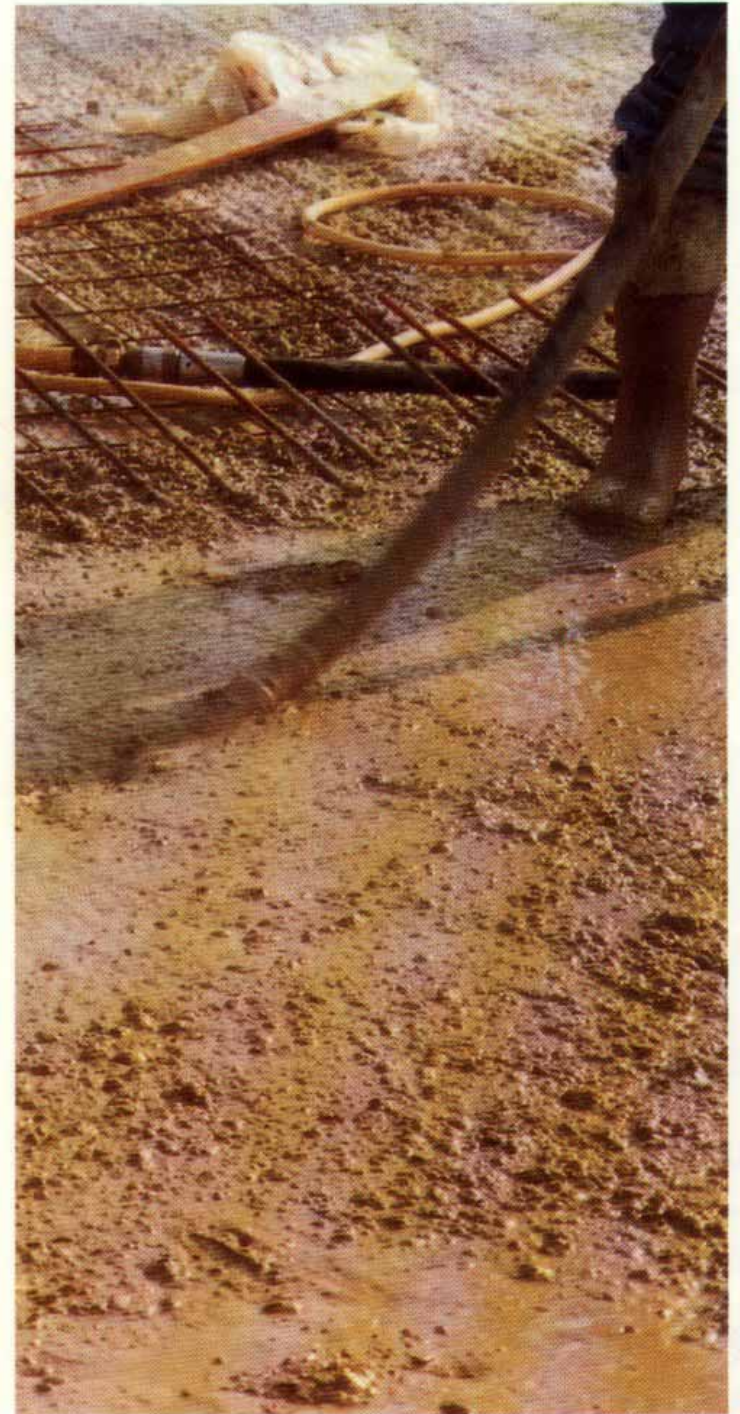


iii., Les effets de la vibration :

Sur le béton frais

L'abaissement des forces de frottement rend prédominantes les forces de gravité. L'air, qui a une densité très faible par rapport au béton, se trouve en revanche soumis à une force ascensionnelle importante, qui tend à le faire remonter à la surface.

Lors de la vibration, ce phénomène est visible. L'arrêt du dégagement d'air marque le moment où la vibration n'a plus d'effet sur le serrage du béton et peut même devenir néfaste en provoquant la ségrégation des granulats plus lourds par rapport à la laitance de ciment plus légère.



La vibration a aussi pour effet d'améliorer la viscosité du béton et par conséquent permet la réduction de la quantité de l'eau de gâchage dont une partie importante n'est pas nécessaire à l'hydratation du ciment, mais sert uniquement à rendre le béton plus plastique. Une vibration adaptée permet une mise en place efficace de bétons fermes contenant peu d'eau et qui, une fois durcis, ont l'avantage d'avoir une faible porosité.

Sur le béton durci

Les effets de la vibration sur le béton frais se traduisent, pour le béton durci, par des caractéristiques améliorées :

- Une porosité réduite par l'effet cumulé du serrage, du départ de l'air et de la réduction d'eau nécessaire pour assurer la maniabilité du béton,
- Une homogénéité améliorée par une vibration transmise à la totalité de sa masse,
- Un retrait diminué,
- Un enrobage efficace des armatures.

iii., Les paramètres de la vibration :

Energie : l'énergie transmise au béton par le vibreur doit être la plus élevée possible.

Fréquence : la fréquence optimale varie suivant la taille des granulats. Une fréquence basse (env. 10000 vib/mn) favorise la vibration des gros granulats; une fréquence élevée (env. 20000 vib/mn) celle des éléments plus fins.

Durée : La détermination du temps de vibration est importante, car s'il est trop court, le béton est insuffisamment serré, s'il est trop long, il peut entraîner une ségrégation de ses constituants.

Les effets de la vibration en fonction du temps se caractérisent par une action rapide qui diminue très vite, une fois obtenus l'arrangement des grains et l'expulsion de l'air. A titre indicatif, les temps nécessaires à la vibration d'un volume de béton (en pervibration : temps où l'aiguille est laissée au même emplacement) sont de l'ordre de :

5 secondes pour les bétons mous,

20 secondes pour les bétons plastiques,

1 minute pour les bétons fermes.

iv., Les matériels de la vibration :

Les matériels de vibration se répartissent en deux catégories principales :

ceux qui fournissent une vibration interne au béton (ou pervibration) : le vibreur agit directement dans la masse du béton,

ceux qui apportent une vibration externe : le vibreur agit sur le béton par l'intermédiaire d'un coffrage ou d'une poutre.

Les vibreurs internes

Simple et efficace, couramment utilisés sur chantier, ils sont appelés aiguilles vibrantes et sont constitués par un tube métallique dans lequel la rotation d'une masselotte excentrée produit la vibration. Le diamètre des aiguilles usuelles varie de 25 à 100 mm. Leur fréquence est comprise entre 10 et 20000 vib./mn.

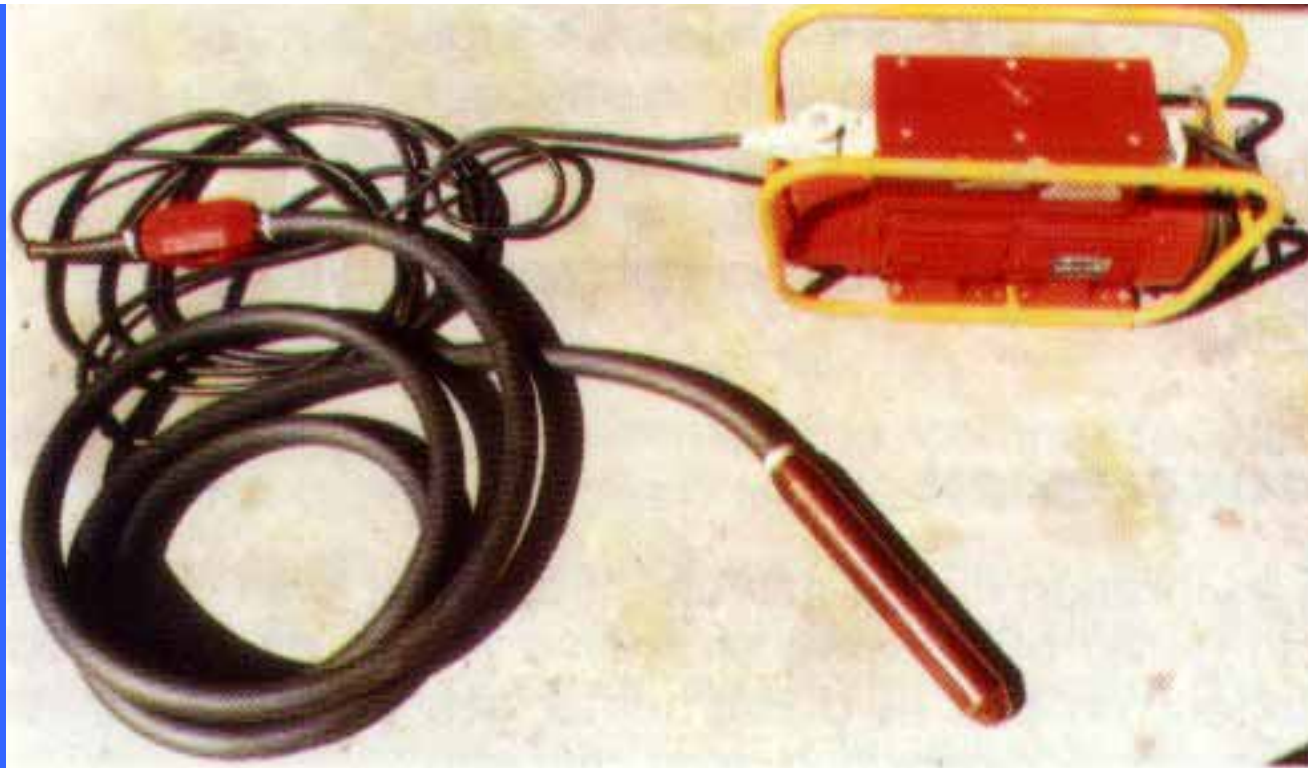
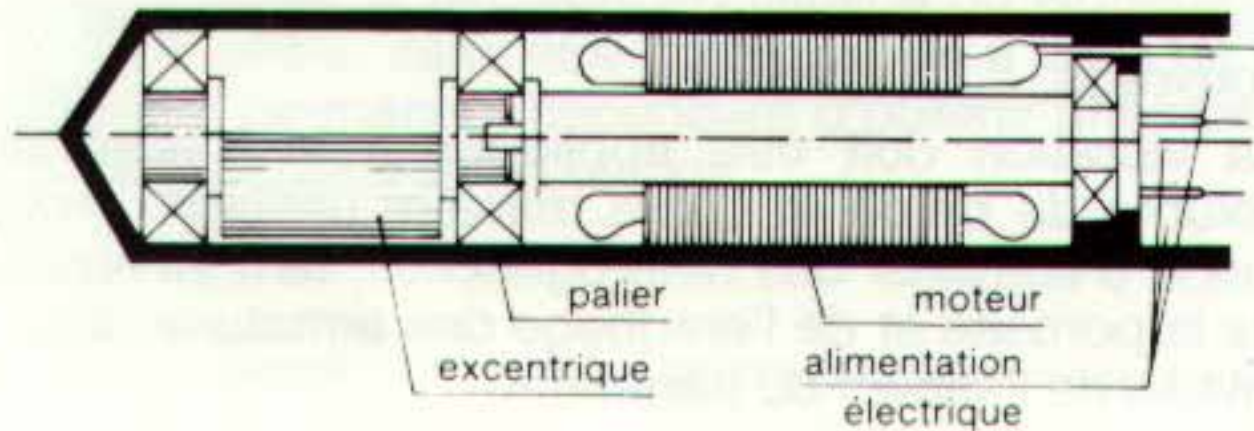


Schéma d'un vibreur électrique : le moteur d'entraînement est logé directement dans le corps de l'aiguille.



Les aiguilles de 25 à 70 mm sont utilisées pour des volumes de béton n'excédant pas 10 m³ et dont la granulométrie est inférieure à 25 mm. Les aiguilles de plus de 70 mm sont utilisées pour des volumes de 10 à 30 m³ de béton avec de fortes granulométrie.



Diamètre aiguille (mm)	Rayon d'action (cm)
25	10
50	25
75	40
100	50

Rayon d'action d'une aiguille vibrante selon son diamètre



Vibrateur de coffrage : l'appareil et son chantier in situ.



La règle déplacée sur deux rails de niveau assure la planéité de la dalle.



Les vibrateurs de surface : permettent de transmettre la vibration à partir d'une règle déplacée à la surface du béton. Le vibrateur est fixé sur la règle qui doit présenter une rigidité et une inertie suffisantes. Ce type de vibration est réservée aux dalles, aux voiries en béton et, de façon générale, à tout élément horizontal de faible épaisseur (15 à 20 cm au maximum).

v., Les règles pratiques :

Les règles de bonne pratique concernent essentiellement le temps de vibration et les emplacements des vibrateurs.

Le temps de vibration lié à la nature du béton (granulométrie, consistance), au volume à vibrer, à la densité du ferrailage, varie également en fonction du type de vibrateurs et de leur puissance.

Certains indices permettent d'apprécier le moment requis pour arrêter la vibration :

- le béton cesse de se tasser,
- le dégagement de bulles d'air s'arrête,
- la laitance apparaît en surface.

La vibration interne

L'emploi des aiguilles vibrantes requiert quelques précautions:

Vibrer des couches successives ne dépassant pas 40 à 50 cm d'épaisseur et, en tout état de cause, d'épaisseur inférieure à la longueur de l'aiguille vibrante utilisée,

Faire pénétrer l'aiguille dans la couche sous-jacente sur environ 10 cm,

Laisser l'aiguille s'enfoncer sous son poids propre et, lors de sa sortie du béton, laisser la cavité se refermer,

Eviter de s'approcher des armatures et du coffrage, ce qui risquerait de provoquer des parements d'aspect hétérogène,

Déplacer l'aiguille tous les 30 à 50 cm (soit env. 1,5 fois son rayon d'action) pour les aiguilles courantes de 50 à 75 cm de diamètre.

La vibration externe

L'emplacement des vibrateurs et le temps de vibration sont plus délicats à déterminer, car les paramètres sont nombreux: la nature du moule ou du coffrage, la forme de la pièce, le volume du béton et sa composition. L'expérience des essais préalables ainsi que l'assistance des fabricants de vibrateurs sont le plus souvent nécessaires pour obtenir les meilleurs résultats.

vi., Conclusion

La vibration est un moyen efficace de mise en place du béton qui permet en même temps de limiter sa teneur en eau et d'augmenter ses caractéristiques finales par diminution de la porosité. Il ne faut pas aussi perdre de vue que l'on ne peut obtenir un bon béton en vibrant un béton mal formulé et que la vibration doit être adaptée à la composition du béton et aux caractéristiques de l'ouvrage. La vibration doit être appliquée à la totalité du volume du béton et d'une manière uniforme, sous peine d'entraîner des hétérogénéités, tant au niveau de la porosité et de l'enrobage des armatures qu'au niveau de l'aspect du parement.