

2.9 La vibration du béton sur chantier

2.9.1 - 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 (effets 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.



L'aiguille vibrante : un matériel devenu d'utilisation courante.

2.9.2 - Comment agit la vibration ?

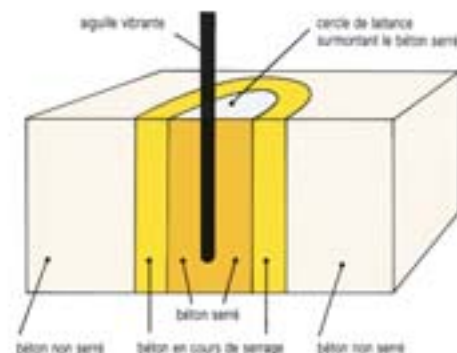
Il ressort des recherches conduites sur ce sujet, que la vibration transmise aux différents grains constituant le béton, se traduit par un déplacement de ceux-ci, selon un mouvement alternatif rapide et de faible amplitude. Ces mouvements internes développent des forces facilitant l'arrangement optimal 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, le béton se comporte comme un corps plastique caractérisé par une certaine viscosité et dont l'abaissement du seuil de cisaillement (valeur minimale de la force assurant le déplacement d'une surface par rapport à une autre dans un fluide plastique) facilite l'écoulement. Lors de 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.

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

- la zone périphérique déjà serrée et désaérée ;
- 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 ;
- une zone qui ne reçoit pratiquement pas d'énergie.

Les deux premières zones constituent le rayon d'action de l'aiguille vibrante.



Différentes zones dans un béton soumis à l'action d'une aiguille vibrante.

2.9.3 - Les effets de la vibration

■ Sur le béton frais

Expulsion de l'air

L'abaissement des forces de frottement (effet de liquéfaction du béton) rend prédominantes les forces de gravité. L'air, qui a une densité très faible par rapport à celle du milieu environnant, se trouve par contre soumis à une force ascensionnelle importante, qui tend à le faire remonter à la surface. Ce phénomène est nettement visible lors de la vibration. 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. Ce phénomène se trouve inversé avec les granulats légers qu'un excès de vibration peut faire remonter à la surface.

Amélioration de la maniabilité

La vibration a pour effet d'améliorer la viscosité du béton; il y a donc tout intérêt à réduire l'eau de gâchage, (par exemple en utilisant un adjuvant) dont une partie importante n'est pas nécessaire à



Sous l'effet de l'aiguille vibrante, l'air contenu dans le béton remonte à la surface.

l'hydratation du ciment, mais sert uniquement à rendre le béton plus plastique. Une vibration adaptée permet donc la 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 enrobage efficace des armatures.

2.9.4 - Les paramètres de la vibration

■ Énergie

L'énergie transmise au béton par le vibreur est proportionnelle à la masse du balourd en rotation, à son excentricité et au carré de sa vitesse. Elle caractérise l'efficacité d'un appareil et doit être la plus élevée possible, tout en restant compatible avec la taille du vibreur.

■ Fréquence

La fréquence optimale varie suivant la taille des granulats. Une fréquence basse (environ 10000 vib./mn) favorise la vibration des gros granulats, une fréquence élevée (environ 20000 vib./mn) celle des éléments plus fins.

■ Amplitude

C'est un paramètre qui détermine en particulier le déplacement des constituants du béton durant une demi-vibration, mais sa mesure est délicate.

On peut cependant dire qu'une trop forte amplitude favorise la ségrégation, surtout avec un béton mou. On a donc intérêt à la limiter et à privilégier l'augmentation de la fréquence.

■ **Durée**

La durée de vibration est importante, car si elle est trop courte, le béton est insuffisamment serré, si elle est trop longue, elle 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. À titre indicatif, les temps nécessaires à la vibration d'un volume de béton (en pervibration, c'est-à-dire le 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.

2.9.5 - Les matériels de 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 au sein 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. Différentes formes d'énergie sont utilisées qui conduisent à des conceptions différentes : pneumatique, électrique, thermique.

Le diamètre des aiguilles usuelles varie de 25 à 100 mm. Leur fréquence est comprise entre 10 000 et 20 000 vib./mn. Indépendamment du fait qu'une aiguille doit être choisie en fonction de sa masse qui la rend plus ou moins manœuvrable et d'un diamètre compatible avec l'espacement

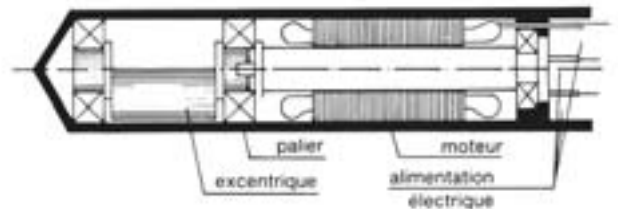
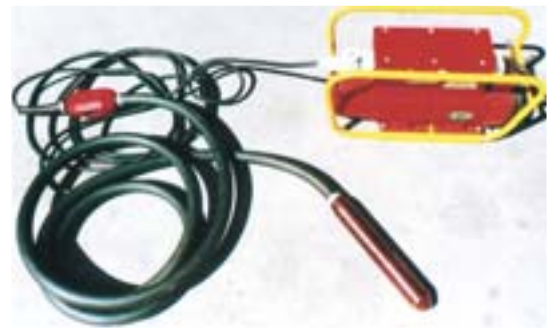


Schéma d'un vibreur électrique : le moteur d'entraînement est logé directement dans le corps de l'aiguille.

des armatures entre lesquelles elle doit pouvoir facilement se positionner, les principaux critères de choix restent le volume du béton à vibrer et sa granulométrie.

Les aiguilles de 25 à 70 mm sont plutôt utilisées pour des volumes de béton n'excédant pas 10 m³ et dont le diamètre des plus gros granulats est inférieur 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 granulométries.

■ **Les vibreurs externes**

Nous ne traitons pas des tables vibrantes, dont l'usage est réservé à la préfabrication. Sont utilisés sur les chantiers, les vibreurs de coffrages et les vibreurs de surface.

Les vibreurs de coffrages

De même que les aiguilles, les vibreurs de coffrages utilisent le principe de la vibration produite par la rotation d'une masselotte excentrée. Fixés sur les coffrages, les vibreurs imposent que ceux-ci soient suffisamment lourds et rigides pour ne pas se déformer et transmettre la vibration de façon homogène.

La fréquence de vibration des vibreurs électriques est le plus souvent de 3 000 ou 6 000 vib./mn. Les vibreurs pneumatiques atteignent des fréquences plus élevées : entre 10 000 et 15 000 vib./mn. La profondeur de béton intéressée

par la vibration ne dépassant pas généralement 20 à 25 cm, ce type de vibreur est réservé à des pièces d'épaisseur moyenne : murs, voiles, poteaux, poutres.

Les vibreurs de surface

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



Vibreur de coffrage :
l'appareil et son utilisation
sur chantier in situ.



2.9.6 - Les règles de bonne pratique

Les règles de bonne pratique concernent essentiellement le temps de vibration et les emplacements des vibreurs et leurs fréquences. Le temps de vibration lié à la nature du béton (granulométrie, consistance), au volume à vibrer, à la densité de ferrailage, varie également en fonction du type de vibreurs 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 propre poids et, lors de sa sortie du béton, laisser la cavité se refermer ;
- éviter 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 environ 1,5 fois son rayon d'action) pour les aiguilles courantes de 50 à 75 mm de diamètre.

■ La vibration externe

L'emplacement des vibreurs 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 vibreurs sont le plus souvent nécessaires pour obtenir les meilleurs résultats.

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 cependant jamais perdre de vue que l'on ne peut obtenir un bon béton en vibrant un mélange 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 de 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.