

Composants préfabriqués en béton

Fabrication en grandes séries

par Jacques BRESSION

Ingénieur en Chef au Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton (CERIB)

1. Blocs	C 2 262v2 - 2
2. Bordures et pavés	— 4
3. Dalles et carreaux en béton	— 6
4. Tuiles en béton	— 8
5. Clôtures et éléments de construction légers	— 9
6. Tuyaux et regards	— 11
6.1 Principes et techniques de compactage	— 11
6.2 Centrifugation	— 11
6.3 Laminage par roulage	— 11
6.4 Compression axiale	— 11
6.5 Compression radiale	— 12
6.6 Vibration	— 13
6.6.1 Vibration-compression à noyau fixe	— 13
6.6.2 Vibration-compression à noyau mobile	— 14
Pour en savoir plus	Doc. C 2 263v2

La fabrication des produits en béton fait appel à des méthodes, des techniques et des matériels variés adaptés aux types et aux dimensions des produits.

Dans le cas de la fabrication en grande série de produits peu volumineux (blocs, bordures, pavés, dalles, tuyaux, clôtures, etc.), on utilise la méthode du démoulage immédiat. Elle permet, aussitôt après démoulage des produits frais sur un support, de réutiliser le moule pour une nouvelle opération. Cette méthode est appliquée avec des techniques (de moulage, de compactage, de démoulage) spécifiques aux machines développées pour une gamme de produits donnée, par exemple presses vibrantes pour blocs, machines à tuyaux, presses à dalles, machines à clôtures, etc.

Le dossier *Composants préfabriqués en béton* se compose de trois parties :

- C 2 262v2 : *Fabrication en grande série* ;
- C 2 263 : *Fabrication de produits volumineux* ;
- Doc. C 2 263v2 : *Pour en savoir plus*.

1. Blocs

■ Les blocs et autres produits de maçonnerie ainsi que les entrevous pour planchers sont toujours fabriqués par démoulage immédiat à l'aide de **presses vibrantes**.

Ces machines, autrefois mobiles, sont maintenant le plus souvent fixes. Elles utilisent le même principe que les premières machines des années vingt. Celui-ci repose sur le remplissage d'un moule métallique avec un béton « sec », puis son compactage sous l'effet combiné d'une vibration et d'une compression.

Quel que soit le type de machine, le cycle de fonctionnement est le suivant (figure 1).

- Le moule, dont le fond est constitué par une planche en bois ou en métal, est rempli de béton à l'aide d'un tiroir mobile.
- Le béton contenu dans le moule est compacté sous l'effet de la vibration, puis comprimé par un pilon.
- Les produits ainsi formés sont démoulés :
 - soit par levée du moule (les produits étant maintenus sur leur support par le pilon) (figure 1a) ;
 - soit par éjection sous le moule (figure 1b).
- Les produits sont évacués sur leur support appelé planche.

■ Il existe une **grande diversité de presses vibrantes** suivant leur mode de fonctionnement et leurs capacités de production.

● Les **presses fixes « européennes »**, qui sont les plus courantes, comportent toujours une table vibrante qui transmet les vibrations au moule par l'intermédiaire d'un support. Sur ces machines, le démoulage s'effectue par levée du moule (car la table vibrante est fixe) et les produits sont évacués devant la machine par un convoyeur (figure 2). La durée du cycle de fabrication de ces machines se situe entre 12 et 17 secondes.

● D'autres **machines dites « américaines »** diffèrent des presses fixes « européennes » par le fait que la vibration est appliquée directement sur le moule. Dans ce cas, le démoulage se fait par l'éjection des produits vers le bas, simultanément à un mouvement de descente de la planche.

● On utilise encore quelquefois des **machines dites « pondeuses »** pour lesquelles le moule repose sur le sol et les produits sont démoulés au sol (figure 3). De telles machines présentent l'avantage d'une grande simplicité de fonctionnement et de ne pas nécessiter d'installations complexes de manutention pour évacuer les produits. Elles exigent par contre une aire de démoulage vaste et plane et les produits qu'elles fournissent subissent un compactage moins énergétique qu'avec les machines fixes.

La durée du cycle de moulage se situe, pour les machines pondeuses, entre 20 et 30 secondes.

■ Les **capacités de production** (nombre de blocs par opération) des presses vibrantes sont très différentes suivant les modèles. Les presses vibrantes ont, en général, des capacités de production équivalentes à 5, 6 ou 8 blocs de $20 \times 20 \times 50$ cm pour les presses dites simples, ou 10 à 12 blocs pour les presses dites doubles. Les presses « américaines » ont souvent des capacités plus réduites (3 à 6 blocs), mais leurs cadences de production sont plus grandes (5 à 8 opérations par minute au lieu de 2 à 5 pour les presses « européennes »).

Pour un poste de 8 heures, la production de ces machines se situe généralement entre 1 400 et 2 400 planches, soit 7 000 à 25 000 blocs $20 \times 20 \times 50$ cm (cela représente 100 à 400 tonnes de béton).

■ La plupart des machines européennes sont à **commande hydraulique**. La vibration y est obtenue par des vibreurs fixés sous une table vibrante sur laquelle le moule et son fond (planche) sont bridés lors des phases de vibration. Les vibreurs à balourds, à action unidirectionnelle, sont généralement entraînés par des moteurs électriques séparés.

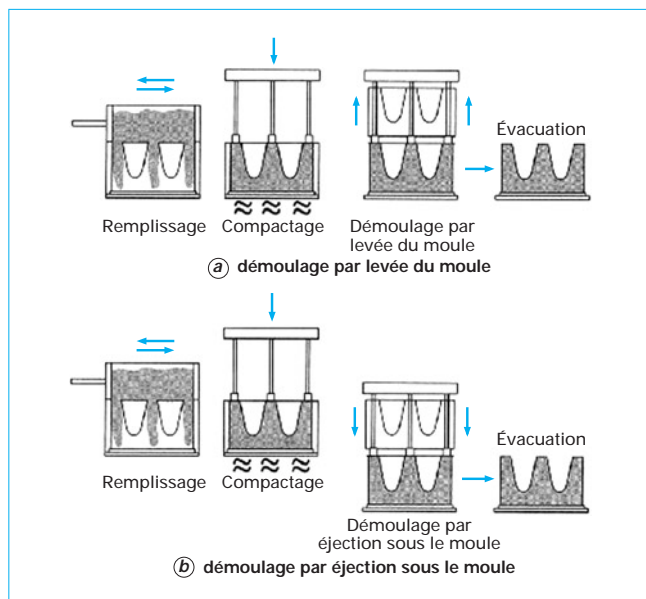


Figure 1 – Processus de fabrication des blocs

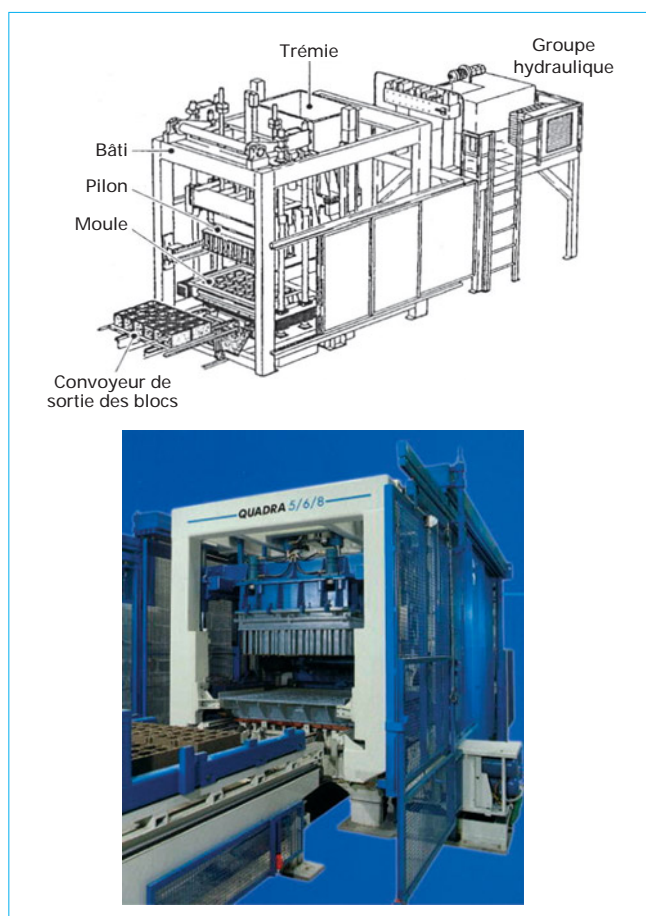


Figure 2 – Presse vibrante et convoyeur de sortie

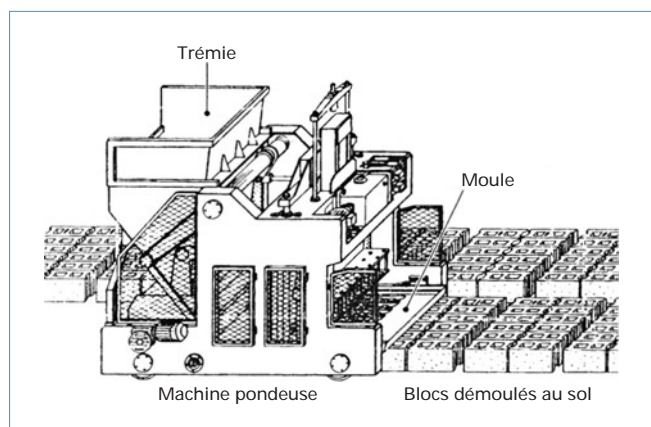


Figure 3 – Pondeuse au sol

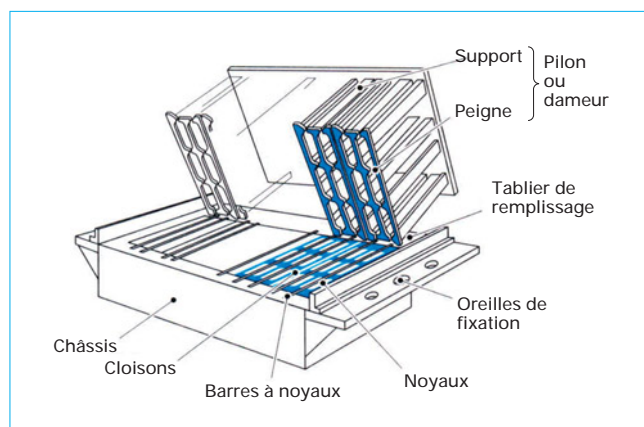


Figure 4 – Moule à blocs

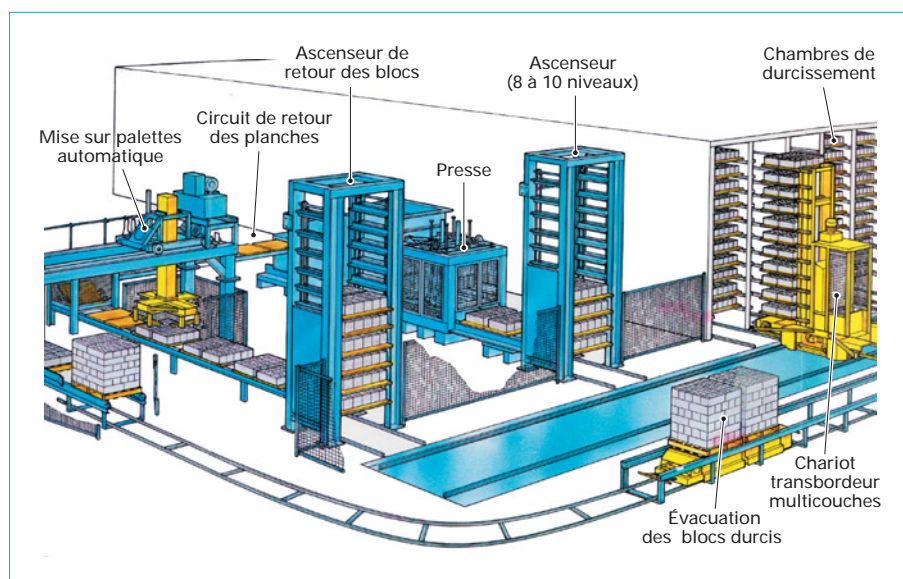


Figure 5 – Schéma d'une installation de fabrication de blocs avec chambres de durcissement

La fréquence de la vibration est le plus souvent de l'ordre de 50 à 60 Hz (3 000 à 3 600 tr/min) et sa puissance est telle qu'elle nécessite deux ou quatre moteurs de 6 à 8 kW pour les machines simples et quatre moteurs de même puissance pour les machines doubles. Sur les machines modernes, des servomoteurs permettent une variation de la fréquence et de la force centrifuge, permettant ainsi une meilleure adaptation de la vibration aux moules utilisés et aux produits fabriqués.

Sur les machines « américaines », la vibration est directement transmise au moule car les vibreurs sont intégrés dans les moules ou leurs supports.

■ Les **planches** (appelées aussi panneaux) constituent le **fond des moules**, elles supportent les produits après leur démoulage immédiat. Elles peuvent être en bois (pin, mélèze ou azobé, balau) de 35 à 50 mm d'épaisseur ou en tôles d'acier de 12 à 15 mm d'épaisseur.

Les **moules** sont des équipements essentiels de ces machines car la qualité des produits fabriqués et la productivité des machines dépendent directement de leurs caractéristiques (précisions

dimensionnelles, résistances mécaniques aux chocs et à l'abrasion).

Les moules sont des équipements coûteux à l'achat (entre 6 000 et 15 000 € en 2005) et en maintenance car au cours de leur durée de vie (entre 50 000 et 200 000 opérations), de nombreuses interventions sont nécessaires (changement de pièces d'usure ou rechargements).

Les moules de presses vibrantes sont constitués de deux éléments (figure 4) : le corps inférieur (châssis, cloisons, noyaux...) et le pilon quelquefois appelé dameur.

Une presse vibrante peut recevoir un grand nombre de moules différents correspondant aux dimensions variées des blocs et des nombreux produits que l'on peut fabriquer (entrevous, boisseaux, claustras, corniches, murets, pavés, bordures...).

Les machines à blocs sont toutes automatiques et pilotées par des automates programmables et des ordinateurs.

Ces machines sont accompagnées par des systèmes de manutention également très automatisés qui assurent (figure 5) :

— l'évacuation des blocs démoulés sur les planches ;

- le stockage de ces blocs dans les chambres ou dans un tunnel de durcissement ;
- la mise sur palettes des produits durcis (généralement après 24 h de durcissement à température ambiante ou après 8 h de durcissement accéléré par étuvage) ;
- le recyclage des planches dans la machine.

2. Bordures et pavés

■ Les produits de voirie tels que bordures et pavés sont généralement fabriqués avec des processus (démoulage immédiat et durcissement sur planches) et des machines du type **presses vibrantes**, très semblables à ceux utilisés pour les blocs en béton.

Cependant, pour répondre aux exigences particulières des produits de voirie concernant l'aspect, les résistances mécaniques, la durabilité, les conditions de production présentent certaines particularités :

- les bétons utilisés sont plus dosés en ciment (14 à 18 % en moyenne) et plus plastiques (teneur en eau du béton frais 6 à 7 %) ; le compactage est plus poussé (faible porosité) par l'emploi de vibrations plus puissantes et plus longues (4 à 8 s au lieu de 1 à 3 s pour les blocs) ;
- la finition et l'aspect de surface sont améliorés par l'emploi de bétons plus fins (microbétons limités à 4 mm) ou de deux bétons (béton de masse et béton de parement), compactés simultanément.

Ces particularités conduisent à l'emploi de presses vibrantes spécifiques dites presses polyvalentes le plus souvent équipées de deux modules de remplissage (figure 6) et dans tous les cas d'un ensemble de vibration et de pressage adapté.

■ **Pour la fabrication des bordures**, les presses vibrantes sont équipées de moules et de pilons adaptés aux différents types de bordures (A, P, T, I, CS, CC). Elles doivent aussi être équipées d'un système de nettoyage efficace du pilon à chaque opération. En effet, l'utilisation de bétons plus fins et plus dosés en ciment conduit à des problèmes de collage du béton sous le pilon lors du démoulage.

Dans le cas de fabrication de **bordures « bicouches »** (à deux bétons), le béton de masse, introduit en premier dans le moule, doit être légèrement précompacté à l'aide du pilon pour laisser la place au **béton de parement** dont l'épaisseur en face vue est de l'ordre de 10 à 15 mm.

Ce béton de parement peut être composé à partir de ciment blanc, de pigments et de granulats spéciaux (par exemple mélange de quartz et basalte) pour obtenir après traitement les aspects recherchés (par exemple type granite ou porphyre, gris, ocre ou rose). Ces aspects sont généralement obtenus après un lavage immédiat réalisé en sortie de presse.

Les bordures fraîches sont stockées dans des cellules de durcissement puis palettisées de façon automatique après 24 ou 48 h.

La production moyenne des presses vibrantes utilisées pour la fabrication des bordures se situe entre 100 et 200 opérations par heure, soit, selon le nombre de produits par moule (de 1 à 10 bordures selon le type, voir par exemple figure 7), entre 100 et 2 000 mètres linéaires par heure.

■ **Pour la fabrication des pavés**, les presses sont équipées de moules et de pilons adaptés à la forme des produits et à leur épaisseur (60, 80 ou 100 mm). Les moules obtenus le plus souvent par oxycoupage ou découpage au laser dans une plaque épaisse d'acier spécial, peuvent être réalisés pour toute forme de pavés et pour différentes dispositions (par exemple pavés préemboîtés pour permettre la pose mécanisée) (figure 8).

Les **pilons** peuvent être plans, avec chanfreins ou reliefs (par exemple pour obtenir des aspects rustiques) ou encore avec des systèmes à compression en deux phases (pour produire des pavés étagés) (figure 9).

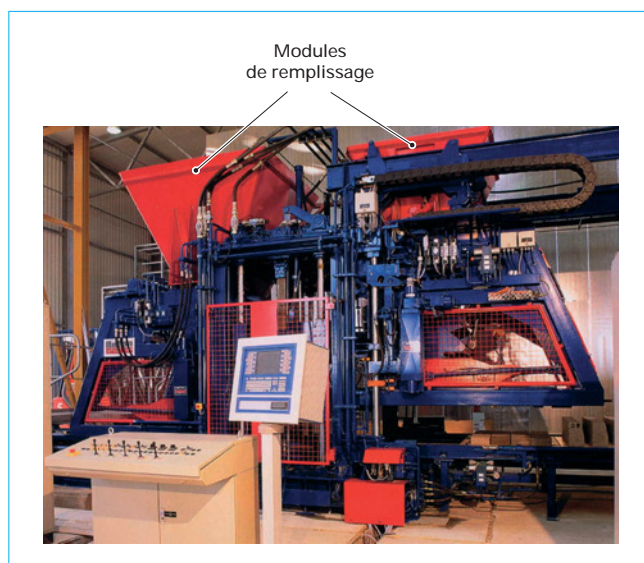


Figure 6 – Presse vibrante polyvalente équipée de deux modules de remplissage pour la production de bordures

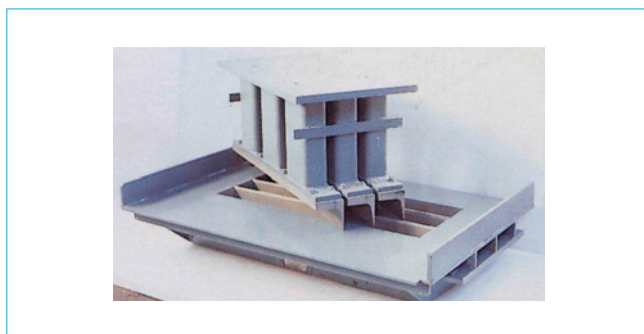


Figure 7 – Moule à trois bordures T2

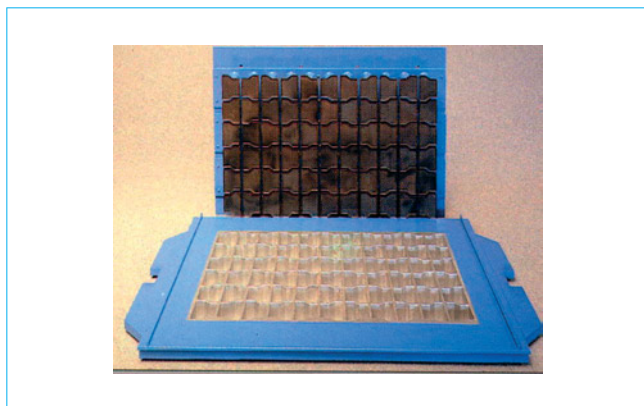


Figure 8 – Moule à pavés avec disposition correspondant à celle de la pose

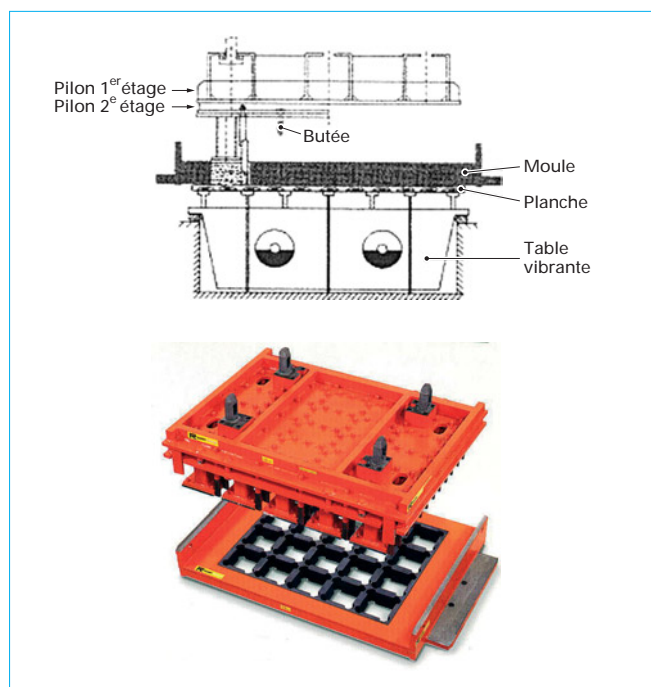


Figure 9 – Pilon spécial pour compression en deux phases de pavés étagés

Dans le cas de pavés bicouches, l'épaisseur de la belle face est souvent réduite à 5 ou 10 mm, elle est réglée par la profondeur d'enfoncement du pilon dans le moule lors du précompactage du béton de masse.

Les pavés sont le plus souvent stockés sous la forme de **paquets housés** pour assurer leur protection contre les salissures et éviter l'apparition de phénomènes d'efflorescences secondaires créés par la stagnation de l'eau de pluie entre les pavés. Le housage permet, entre autres, d'assurer la stabilité des paquets.

Les machines à **démoulage « frais sur frais »** sont souvent utilisées pour la production des pavés en monocouche ou en bicouche. Ces machines utilisent une table vibrante « escamotable » et une table de démoulage élévatrice (figure 10). Cette dernière vient se positionner sous le moule avant le démoulage (les pavés restent bloqués dans le moule sans fond lors du retrait de la table vibrante).

Le démoulage se fait donc avec un empilement direct « frais sur frais » des pavés avec interposition de sable ou d'un film plastique pour éviter le collage des couches. Ces machines permettent de limiter les équipements et les surfaces nécessaires à la manutention et à la palettisation. Cependant l'empilage « frais sur frais » présente des inconvénients vis-à-vis des qualités d'aspect des pavés. Il est donc réservé aux productions massives de pavés sans exigences d'aspect.

La production réalisée avec les machines à deux bétons se situe entre 500 et 1 000 m² de pavés par poste de 8 h (pour une machine simple produisant 0,5 à 0,6 m² par opération), cette production peut être doublée avec des machines dites « doubles » (environ 1 m² par opération).

Les pavés font souvent l'objet de **traitements de surface** pour créer des aspects particuliers (en combinaison avec les couleurs et les reliefs obtenus par les empreintes des pilons). Ces traitements peuvent être réalisés à l'état frais par un lavage immédiat qui élimine la pâte de ciment en surface (figure 11). Ils peuvent être réalisés à l'état durci par des techniques de grenailage (figure 12) ou de bouchardage (figure 13).

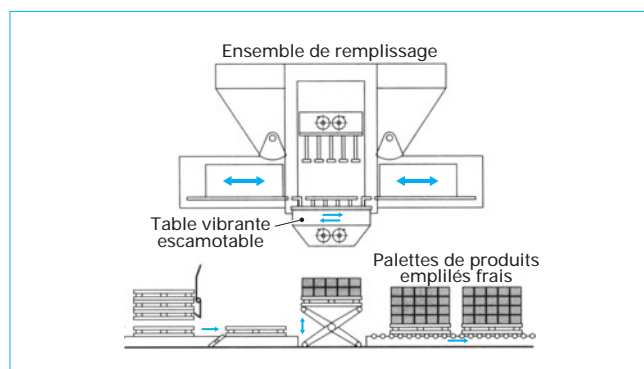


Figure 10 – Machine à pavés à démoulage « frais sur frais »

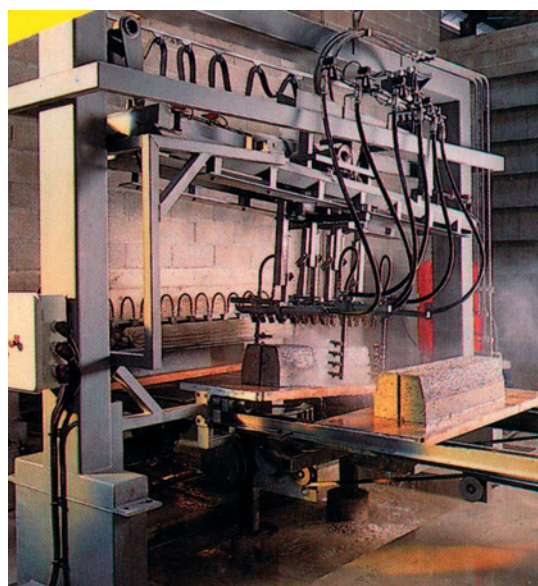


Figure 11 – Installation pour le lavage à l'état frais des bordures

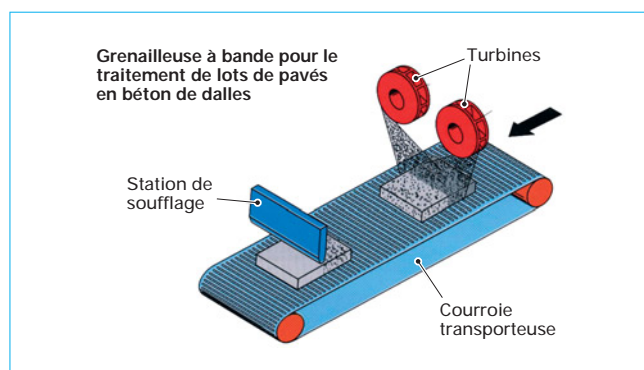


Figure 12 – Machine pour le grenailage des pavés et principe de fonctionnement

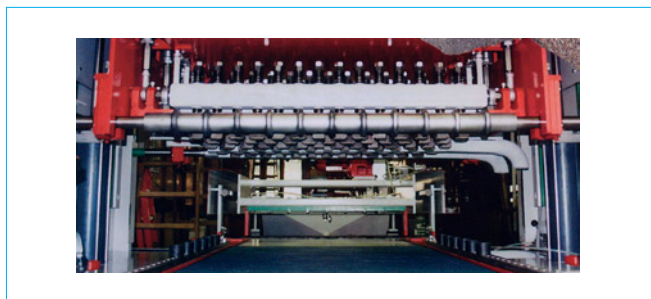


Figure 13 – Bouchardeuse en ligne

Un traitement de vieillissement artificiel, de plus en plus souvent pratiqué pour les pavés, réalise un « écornage » par passage des pavés en vrac dans un tambour rotatif ou par des chocs de billes d'acier.

Les bordures et les pavés en béton peuvent être fabriqués avec d'autres types de machines que les presses vibrantes. Ce sont, par exemple, les machines à retournement à démoulage immédiat (voir § 5 « Clôtures ») ou encore des presses à essorage à haute pression (voir § 3 « Dalles »).

3. Dalles et carreaux en béton

La fabrication des dalles et carreaux en béton peut être réalisée avec des techniques et machines très différentes selon, en particulier, le type de produit, les capacités de production et les aspects recherchés. Elle peut se faire soit avec démoulage différé, soit avec démoulage immédiat.

■ Pour la **production de dalles décoratives** en particulier d'aspect à relief du type pierre reconstituée, on utilise des lignes de production à démoulage différé dites « wet-cast » (figure 14). Ces lignes de production sont équipées d'un grand nombre de supports et de moules interchangeables (généralement en plastique thermoformé ou polyuréthane moulé) pour reproduire des reliefs. Les dalles étant durcies dans les moules pendant environ 18 à 24 heures, la production correspond au nombre de moules disponibles (600 à 3 000 pour un modèle donné).

■ Pour la **production en grande série de dalles et carreaux de mosaïque de marbre** on utilise des presses automatiques à démoulage immédiat qui peuvent être :

- des presses à haute pression dites « hermétiques », destinées à la production de dalles de parement et de carreaux bicouches ; ce sont les plus répandues ;
- des presses vibrantes pilonneuses utilisées pour la production de dalles de parement bicouches ou de dalles en béton massif ;
- des presses à essorage à haute pression, utilisées principalement pour la production de dalles en béton massif et de plus en plus souvent des dalles minces constituées d'un seul béton de parement ;
- des presses vibrantes classiques utilisées pour les dalles de parement de petites dimensions (proches de celles des pavés – voir la fabrication de pavés –).

● Les **presses « hermétiques »** sont des machines dont le principe de compactage repose sur le pressage à haute pression (12 à 20 MPa sur le béton) de deux bétons très différents. Le béton de belle face assez plastique est déposé dans le fond des moules et le béton de semelle ou caisson, très sec, est déposé sur le précédent.

Les moules constitués par des cadres très rigides, interchangeables (correspondant aux différents formats des dalles) sont bridés

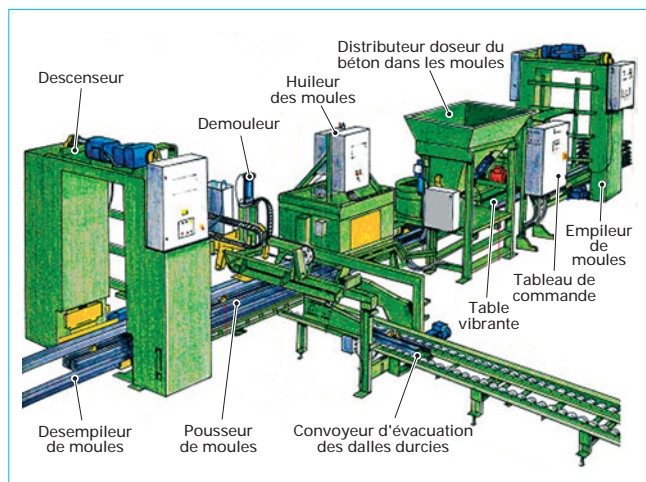


Figure 14 – Ligne de production à démoulage différé pour les dalles

sur des fonds rigides revêtus d'un élastomère pour assurer une parfaite étanchéité.

Le pressage assure le compactage des deux bétons et le transfert de l'eau excédentaire de la belle face dans le béton du caisson.

Cette méthode, héritée des fabrications de carreaux de mosaïque de marbre (granito), est appliquée maintenant sur des dalles de grand format (jusqu'à deux dalles 50 × 50 cm ou une dalle 60 × 80 cm) grâce à des presses de grandes capacités dont les forces maximales de pressage se situent entre 6 000 et 14 000 kN (figure 15).

La plupart des machines utilisant cette méthode sont du type « à table rotative » équipée de 6 à 7 ou 8 moules, et autour de laquelle sont disposés les différents postes du cycle de production.

Le travail de chaque poste peut ainsi être réalisé simultanément, ce qui conduit à des cadences de production rapides (9 à 15 s par moule) dépendant de la durée de l'opération la plus longue qui est le pressage à haute pression.

La production de ces machines se situe entre 50 et 300 m²/h.

Les « carreaux de ciment », dont l'origine est la plus ancienne, sont encore fabriqués manuellement avec l'aide de presses simples lorsqu'il s'agit d'obtenir des carreaux à veinages ou à dessins.

Dans ce cas, la face vue (appelée belle face) est constituée de plusieurs microbétons colorés, déversés manuellement dans le fond du moule revêtu d'une plaque métallique polie, et garni d'une grille reprenant le motif graphique du dessin à reproduire. Cette grille, appelée diviseur, est retirée avec précaution avant la mise en place du béton de sous-couche (appelé caisson).

Le pressage de l'ensemble assure le compactage et le transfert de l'eau entre les deux couches, ce qui permet un démoulage immédiat des carreaux.

● Les **presses vibrantes pilonneuses** sont des machines qui utilisent deux bétons beaucoup plus semblables pour ce qui concerne leur teneur en eau. Le compactage est obtenu par une succession de vibrations-compression et de pilonnage vibrant. Les divers postes de remplissage et de compactage sont répartis autour d'une table tournante qui dispose de 5 ou 6 moules (figure 16).

Les cadences de production sont semblables à celles des presses hermétiques (12 à 15 s par poste) soit pour deux dalles 50 × 50 cm par moule, environ 100 m²/heure.

Ces machines sont généralement adaptées pour produire des dalles de plus forte épaisseur (en général jusqu'à 80 mm et dans le cas de machines spéciales jusqu'à 160 mm) car les fonds de moule

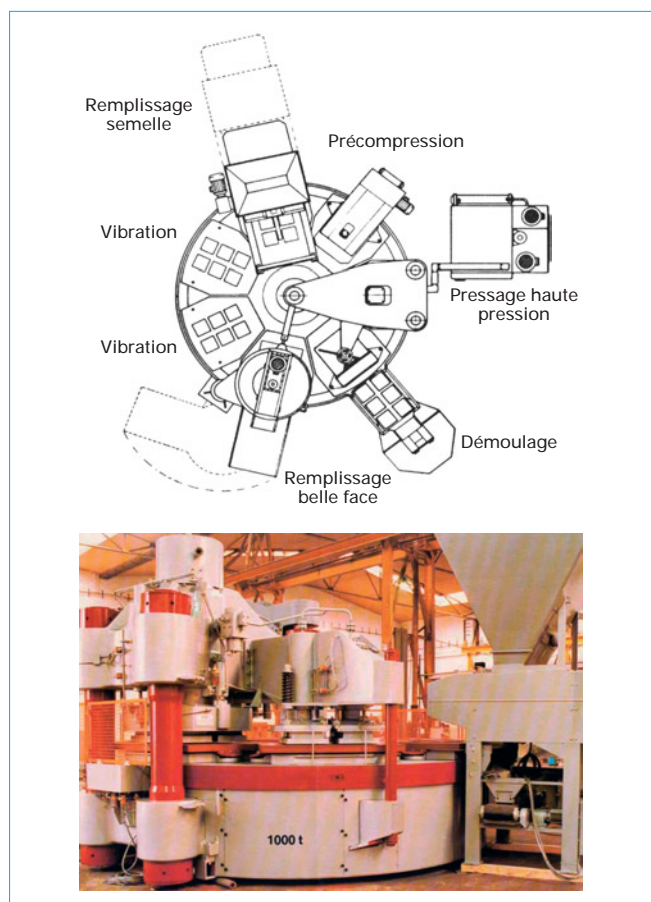


Figure 15 – Organisation des différents postes sur une machine à dalles à table rotative

coulissent à l'intérieur des cadres de moule (démoulage par éjection) permettant le réglage de l'épaisseur sans changer les cadres. L'utilisation de ce type de machine nécessite la mise en place d'un capotage efficace autour du poste de pilonnage qui est extrêmement bruyant.

Lorsque l'on désire obtenir des dalles avec un aspect texturé reproduisant certaines pierres (dalles, roche ou travertin), on dispose en fond de moule des matrices à relief en élastomère dur ou en acier.

● **Les presses à essorage à haute pression** (figure 17) utilisent le principe de l'évacuation de l'eau excédentaire d'un béton par les

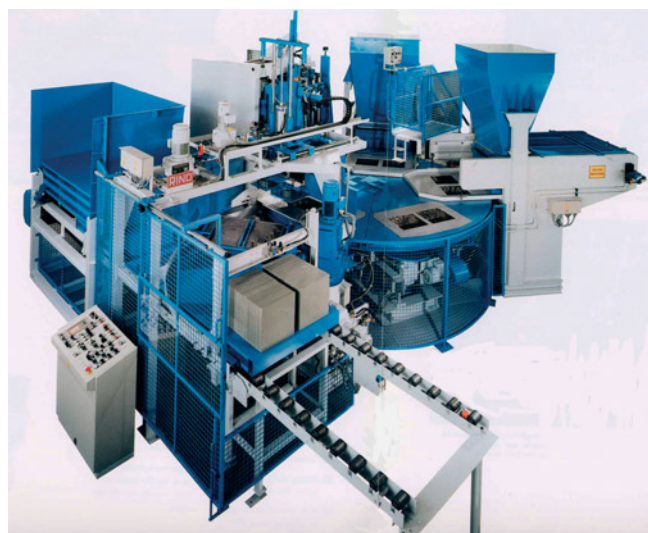


Figure 16 – Presse vibrante pilonneuse pour dalles

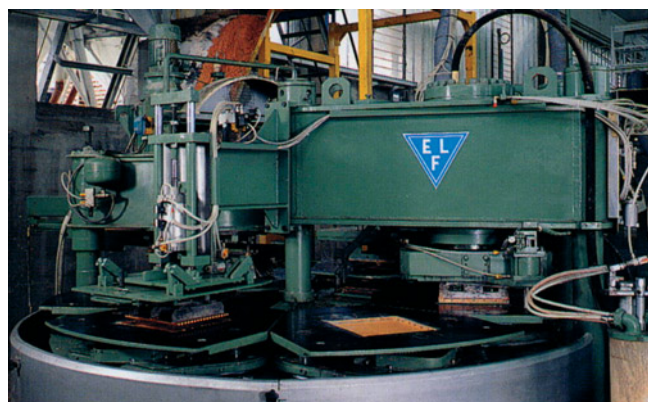


Figure 17 – Presse à essorage à haute pression pour dalles minces

parois poreuses du moule. Le béton très plastique ($E/C \approx 1$, granulométrie 0/8 mm) est déversé dans un moule très résistant, dont le fond est constitué d'une plaque perforée supportant un papier ou un tissu filtrant (figure 18).

Un second papier filtre est disposé à la surface du béton et le pilon est équipé d'une plaque perforée avec un système d'aspiration (le second papier filtre peut être remplacé par une toile filtrante fixée sous le pilon).

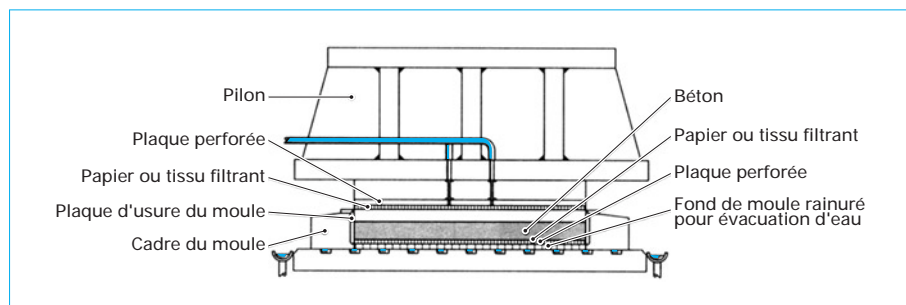


Figure 18 – Moule et pilon d'une presse à essorage

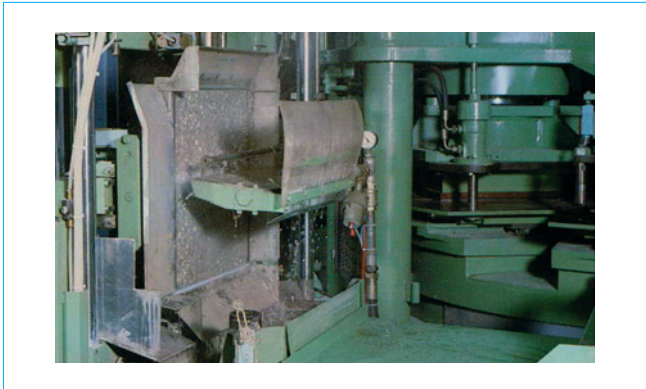


Figure 19 – Lavage immédiat de dalles

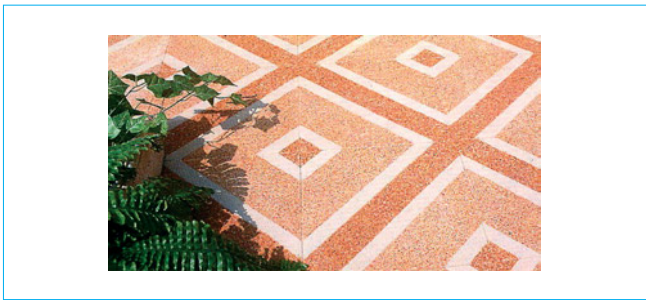


Figure 20 – Dallage obtenu avec papier retardateur à motifs

Lors de la compression, la pression appliquée au béton (10 à 15 MPa) provoque l'évacuation de l'eau excédentaire au travers des filtres, ce qui permet le démoulage immédiat. La manutention des produits finis s'effectue à l'aide de systèmes à ventouses.

■ Des **traitements de surface** sont très souvent appliqués sur les dalles et carreaux en béton. Les plus répandus sont les lavages qui permettent de faire apparaître en surface les grains des gravillons ou des sables de parement, utilisés dans la belle face.

- Le **lavage** peut être réalisé directement sur béton frais juste après le démoulage (figure 19). Dans ce cas, les dalles sont maintenues verticalement et des rampes de lavage et de rinçage balaient la surface des dalles de haut en bas.

Le lavage est aussi pratiqué sur les dalles durcies dont la surface a été « désactivée » par un papier retardateur disposé en fond de moule avant la mise en place du béton de belle face. Différents types de papiers sont utilisés en fonction de la profondeur de lavage souhaitée. L'emploi de papiers à motifs ou dessins permet de réaliser des lavages plus ou moins profonds et d'obtenir des dalles avec ces dessins (figure 20).

- Le **grésage-polissage** est une technique de traitement traditionnelle pour les carreaux mosaïque de marbre, il fait apparaître la texture interne des gravillons et donne une surface parfaitement plane et lisse. Il est de plus en plus appliqué sur des dalles de grands formats (jusqu'à 650 mm) avec des machines automatiques appelées gréseuses linéaires. Ces machines, équipées de nombreuses têtes et outils d'usinage sont capables de traiter entre 50 et 100 m²/h de dalles.

- Le **grenailage** est une technique de traitement de plus en plus appliquée aux dalles, qui donne des aspects de surface proches de ceux des pierres naturelles. Le grenailage est effectué sur des

grenailleuses linéaires à tapis, capables de traiter des productions jusqu'à 200 m²/h.

Les aspects de surface des dalles font l'objet de recherches et d'innovations permanentes, en particulier grâce à la combinaison quasi infinie des teintes des bétons, des granulats de parement et des traitements de surface.

Les combinaisons les plus utilisées sont le grésage et le grenailage ou le lavage et le grésage, mais aussi le grésage de dalles avec des reliefs.

4. Tuiles en béton

Les tuiles en béton sont fabriquées à partir d'un microbéton composé de sable, de ciment et d'eau, auquel sont souvent ajoutés des fillers et des pigments pour la coloration dans la masse.

Leur fabrication s'effectue en continu par laminage et extrusion du microbéton frais sur des moules métalliques (généralement en alliage à base d'aluminium-silicium).

La composition particulière (rapport sable/ciment + filler compris entre 3 et 3,5) et le processus de fabrication donnent un matériau de haute performance (résistance à la traction-flexion de l'ordre de 10 MPa), étanche et non gélif ; ils permettent la fabrication de tout type de tuiles (planes, à emboîtement, rives, faitières...).

La production est généralement réalisée sur des chaînes automatiques à grand débit (90 à 140 tuiles par minute), dont l'élément central est l'extrudeuse. Les moules, dont la forme correspond à celle de la face inférieure des tuiles, sont introduits bout à bout à une extrémité de la machine.

Le microbéton est mis en place et compacté sur les moules par trois organes principaux (figure 21) : un peigne rotatif, un rouleau lamineur, une filière en carbure de tungstène qui donne à la tuile son profil supérieur et ses emboîtements latéraux.

À la sortie de la machine, le ruban continu de microbéton est coupé et éventuellement formé (nez arrondi, emboîtement supérieur...) à chaque extrémité de moule.

Pour améliorer l'aspect et sa durabilité (surface plus lisse peu sensible à la fixation des micro-organismes), on pratique une coextrusion de deux microbétons dont la couche de surface (0,5 à 1,5 mm d'épaisseur) est constituée avec un sable très fin et un dosage en ciment élevé.

La chaîne peut comprendre une station de traitement sur produit frais pour réaliser des aspects particuliers (projection de barbotine à base de ciment, de pigments et de résines).

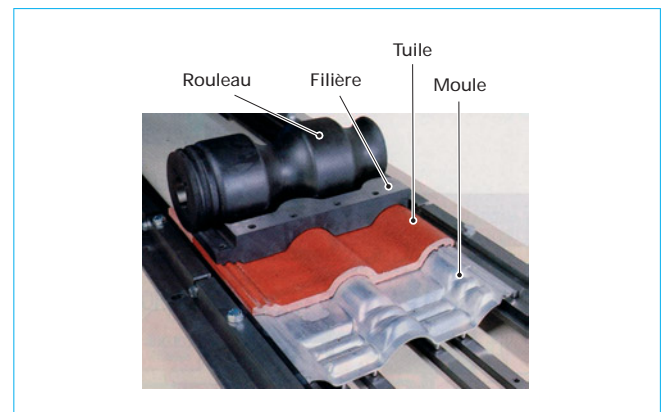


Figure 21 – Illustration de la position relative du moule, de la tuile, de la filière et du rouleau dans une machine à tuile

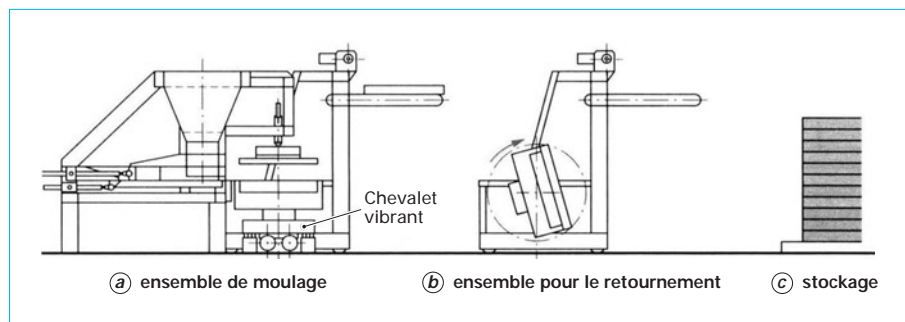


Figure 22 – Principe du démoulage par retournement sur plateaux

Les tuiles fraîches sont « prédurcies » sur leur moule dans des étuves à température et hygrométrie contrôlées (en général autour de 50 °C et 95 % d'humidité relative) pendant une durée variant entre 6 et 24 h, selon la température et le type de ciment utilisé.

Ce prédurcissement permet le démoulage et l'empilage des tuiles à grande vitesse (plus de 100 tuiles par minute). Un traitement de surface par projection de résines est généralement appliqué sur les tuiles dès leur démoulage pour stabiliser leur aspect et éviter en particulier les phénomènes d'efflorescences.

5. Clôtures et éléments de construction légers

■ Les éléments de clôture et de construction légers similaires (poteaux, plaques, panneaux, semelles...) sont fabriqués avec des machines spécifiques souvent appelées « machines à produits longs ou plats » ou « machines à clôtures ».

Ces machines sont aussi utilisées pour fabriquer de nombreux autres produits tels que caillebotis pour les élevages, caniveaux, marches, longrines, traverses...

La particularité de ces machines est de produire des éléments plats ou longs sur des plateaux (ou des moules) de grande longueur (3 à 6 m) et de largeur limitée (0,5 à 1,2 m). La plupart des éléments sont fabriqués en démoulage immédiat par retournement sur des plateaux, c'est pourquoi ces machines sont aussi appelées **machines à retournement**.

Pour les éléments minces (plaques ou panneaux) nécessitant un aspect lisse et une grande précision dimensionnelle, on utilise la technique du démoulage différé et les plateaux sont remplacés par des moules.

■ Les machines comprennent généralement les éléments suivants.

- **Un ensemble de moulage** où sont réalisées les opérations de remplissage, de compactage du béton, puis le talochage et le démoulage des éléments (dans le cas du démoulage immédiat).

Le démoulage est réalisé par le retournement du moule sur lequel le plateau a été verrouillé, puis par la levée du moule ou descente du plateau après son déverrouillage (figure 22).

Sur les machines à démoulage immédiat, les moules (interchangeables pour réaliser la production d'une large variété de produits) sont bridés sur une poutre qui assure la transmission de la vibration et le retournement des produits.

La vibration peut être directement produite sur la poutre par des vibreurs ou arbres à balourds (figure 23) ou bien transmise par l'intermédiaire de chevalets vibrants ou encore une poutre vibrante sur laquelle le moule est bridé (figure 24).

- **Un ensemble de manutention et stockage** des plateaux ou moules (dans le cas du démoulage différé), constitué soit par un râtelier équipé d'un cadre réalisant les mouvements (levée, des-

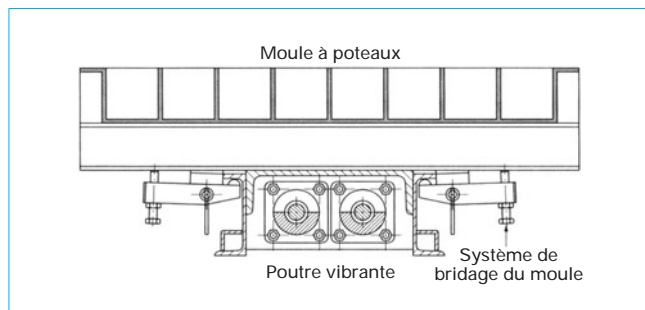


Figure 23 – Coupe d'un moule à poteaux de clôtures bridé sur sa poutre vibrante

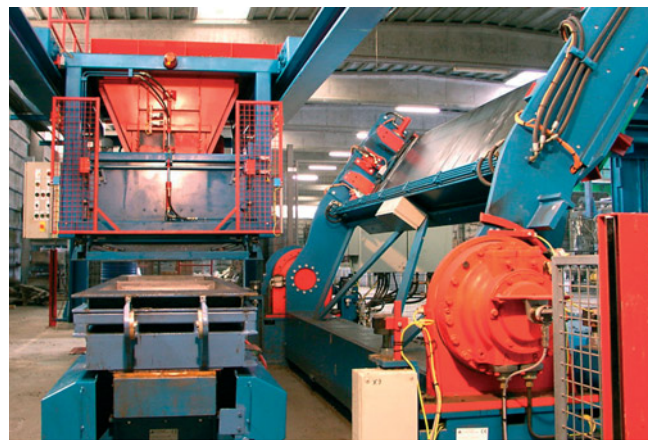


Figure 24 – Ensemble de moulage-démoulage avec bridage du moule sur poutre vibrante

cente, poussage) (figure 25), soit par un pont transbordeur automatique assurant l'empilage et le dépilage programmé des plateaux (figure 26). Dans ce cas, les plateaux comportent des pieds ou des rebords (de hauteur réglable), permettant leur superposition sans contact avec les produits frais.

L'ensemble de stockage des plateaux est souvent installé dans une chambre ou un tunnel isolé thermiquement, et quelquefois chauffé pour assurer un durcissement plus rapide et une cure optimisée pendant la durée souhaitée (en général 24 heures correspondant à la durée de rotation des plateaux).

- **Un ensemble de palettisation des produits durcis** et leur empilage dans la position souhaitée pour leur stockage.

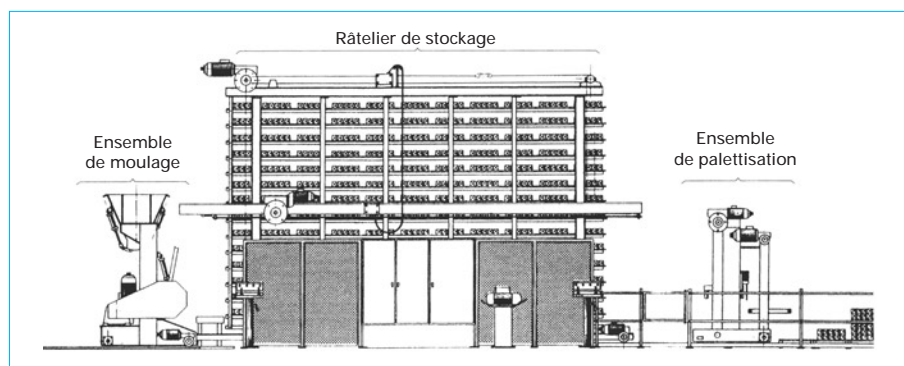


Figure 25 – Ensemble de moulage avec retournement et stockage par râtelier

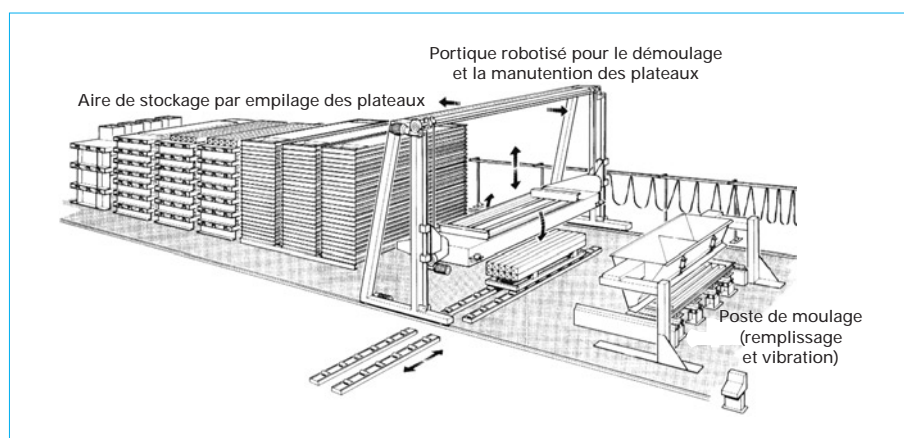


Figure 26 – Ensemble de moulage avec retournement et stockage par empilage des plateaux

● **Un système pour le nettoyage, huilage et le retour des plateaux** vers l'ensemble de moulage. Cette dernière fonction est souvent réalisée par le système de manutention des plateaux.

Certaines machines à grande cadence peuvent recevoir un système de mise en place automatisée des armatures.

Selon la complexité des produits fabriqués, leur nombre par moule et l'équipement des machines, la production journalière (7 h de production) se situe entre 80 et 400 plateaux, soit par exemple 500 à 800 poteaux de clôtures de section $0,1 \times 0,1$ m et de longueur 3 m.

■ Les **pondeuses à retournement** (figure 27) sont des machines particulières quelquefois utilisées pour la production de produits de clôtures mais surtout pour celle d'éléments difficilement transportables à l'état frais (panneaux pour éléments de construction légers, regards d'eaux pluviales, traverses de voies ferrées, chambres de tirage pour télécommunications...).

Les pondeuses à retournement sont constituées d'une poutre vibrante maintenue sur un châssis mobile assurant ses déplacements et son retournement. Les moules correspondant aux produits à fabriquer sont fixés sur cette poutre, leur nombre dépend évidemment de la longueur de la poutre (4 à 6 m).

Après remplissage avec un système simple de trémie et casque, les éléments de béton vibrés et talochés sont démoulés sur le sol par les mouvements de retournement et de levée du moule.

La machine se déplace d'un pas correspondant à la largeur des produits, puis réalise un autre cycle de production. Pour des produits difficiles à retourner (produits plats ou très hauts) le démoulage se fait sur plateau au sol. Dans ce cas le plateau est verrouillé sur le moule avant le retournement puis déverrouillé pour le démoulage.

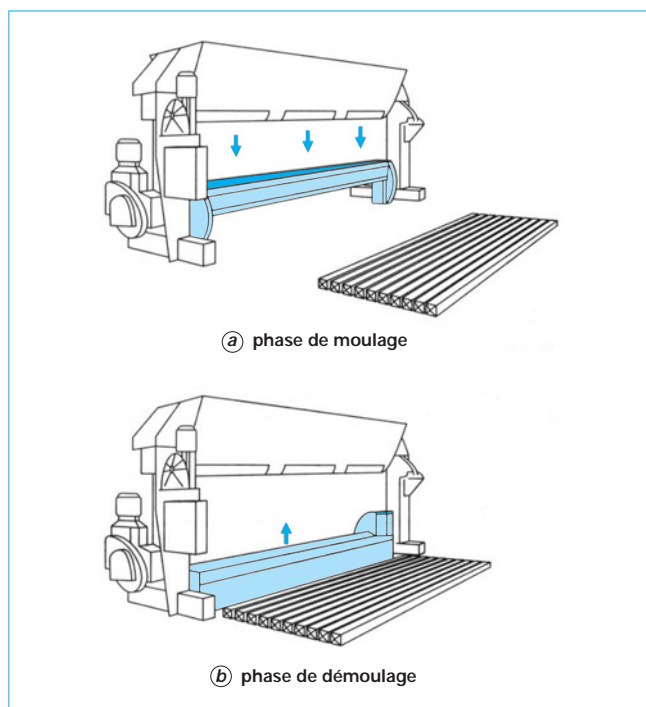


Figure 27 – Pondeuse à retournement

Tableau 1 – Principales techniques de fabrication des tuyaux

Technique de compactage	Orientation de l'axe du tuyau en fabrication	Présence d'un noyau lors du remplissage	Démoulage différé ou immédiat (transport avec ou sans moule)	Principaux domaines d'application (fréquence d'utilisation)
Centrifugation	horizontale	non	différé	tuyaux grandes longueurs précontraints (très peu utilisé)
Laminage par roulage	horizontale	non	différé	tuyaux d'assainissement armés
Compression axiale	verticale	non	immédiat (transport avec moule)	petits tuyaux non armés (n'est presque plus utilisé)
Compression radiale	verticale	non	immédiat (transport avec moule)	tuyaux d'assainissement armés (très utilisé)
Vibration	verticale	oui	différé (1)	tuyaux spéciaux, conduits très gros diamètres (peu utilisé)
Vibration compression à noyau fixe	verticale	oui	immédiat (transport avec ou sans moule) (2)	tuyaux, conduits gros diamètre ou regards (utilisé pour des productions en série limitée)
Vibration compression à noyau mobile	verticale	non	immédiat (transport sans moule)	tuyaux d'assainissement, regards (très utilisé)

(1) Dans certains cas, démoulage immédiat du noyau et différé du moule.
(2) Sans moule pour des longueurs limitées (regards, petits tuyaux).

6. Tuyaux et regards

6.1 Principes et techniques de compactage

La fabrication des tuyaux fait appel à des techniques variées dont les principes de compactage, les modes de démoulage et les domaines d'application sont précisés dans le tableau 1.

Certaines d'entre elles sont très largement utilisées pour les fabrications les plus courantes comme, par exemple, les tuyaux d'assainissement. D'autres, très utilisées par le passé comme la centrifugation, ne sont plus employées que pour des productions spéciales, par exemple les tuyaux précontraints à pression ou d'autres produits de grande longueur comme les pieux et les candélabres.

6.2 Centrifugation

Dans ce procédé, un béton fluide (ou très plastique) est mis en place dans un moule en rotation. Sous l'effet de la force centrifuge, le béton est compacté et perd son excès d'eau qui s'évacue par débordement (figure 28). Très utilisé dans le passé, ce procédé est maintenant réservé aux productions de tuyaux, conduits, pieux, candélabres ou poteaux creux généralement précontraints et de grande longueur (jusqu'à 10 m pour des tuyaux de diamètre 2 000 mm).

Dans la pratique, le moule repose sur des galets ou des courroies et tourne à une vitesse élevée (sa vitesse périphérique est comprise entre 20 et 25 m/s).

Après un remplissage à faible vitesse, la centrifugation proprement dite intervient pendant 10 à 20 min. Le tuyau est ensuite transporté dans son moule jusqu'à une chambre ou un tunnel de durcissement, puis démoulé lorsque ce dernier est suffisamment avancé pour permettre la manutention.

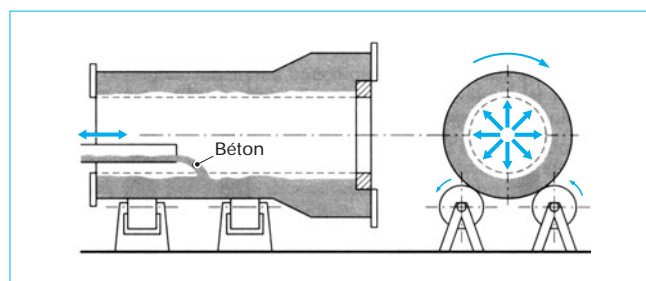


Figure 28 – Fabrication de tuyaux par centrifugation

6.3 Laminage par roulage

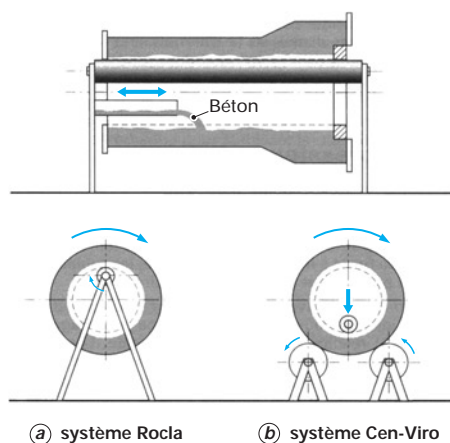
Dans ce procédé, le béton est compacté par laminage entre un rouleau et le moule. Il existe au moins deux variantes de ce procédé :

- le **système Rocla** (figure 29a) dans lequel le rouleau est moteur et entraîne à la fois le moule et le béton, la vitesse périphérique du moule est assez faible (3 m/s pendant le remplissage, 5 m/s pendant la finition) ;
- le **système Cen-Viro** (figure 29b) dans lequel le moule est entraîné par des galets et le rouleau presseur est appliqué à la partie inférieure du tuyau.

Ces procédés permettent de fabriquer des tuyaux de 3 à 4 m de longueur, durcis en moule et présentant un bel aspect de surface. La cadence de production n'est cependant pas très élevée : la production horaire est de 6 à 12 tuyaux pour des diamètres compris entre 0,30 et 0,60 m et des longueurs comprises entre 3 et 6 m.

6.4 Compression axiale

Dans ce procédé d'origine ancienne et pratiquement abandonné, la mise en place s'effectue à l'aide d'une tête tournante,



(c) fabrication de tuyau Rocla

Figure 29 – Fabrication de tuyaux par laminage-roulage

comportant des sabots en forme d'hélice, qui monte à l'intérieur du moule en comprimant le béton dans l'axe du tuyau (figure 30).

Après le formage, le tuyau est transporté dans son moule jusqu'à l'aire de durcissement et démoulé immédiatement par ouverture du moule.

Ce procédé ne permet pas de fabriquer des tuyaux armés. Il était utilisé pour les petits diamètres (< 600 mm) et la longueur des éléments fabriqués était de 1 m au maximum. Une machine fonctionnant sur ce principe pouvait produire, en 1 h, environ 50 tuyaux de 300 mm de diamètre.

6.5 Compression radiale

C'est l'un des procédés les plus utilisés, son principe est le compactage radial du béton contre le moule par une tête tournante équipée de rouleaux (figure 31). Lorsque la tête se déplace de bas en haut au fur et à mesure du remplissage, les rouleaux compactent le béton par un effet de laminage circulaire.

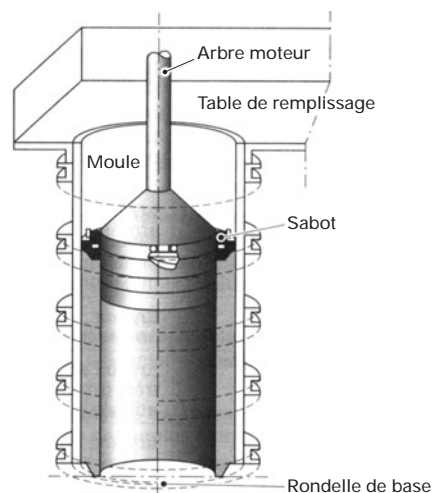


Figure 30 – Fabrication de tuyaux par compression axiale

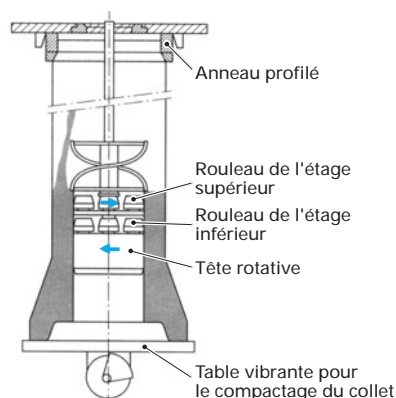


Figure 31 – Fabrication de tuyaux par compression radiale avec tête à deux étages de rouleaux

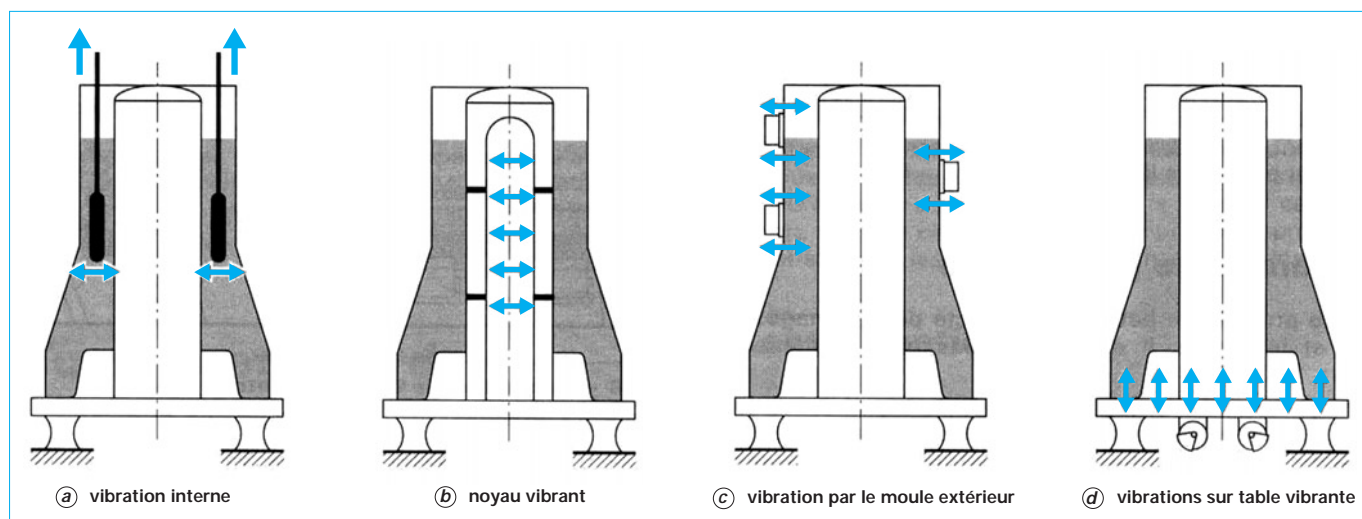


Figure 32 – Différentes techniques de vibration des tuyaux

Les rouleaux peuvent être répartis sur plusieurs étages tournant en sens inverse pour diminuer la tendance au vrillage de l'armature (résultant de la rotation de la tête). Les rouleaux supérieurs sont quelquefois équipés d'ailettes dont la fonction est de « projeter » le béton contre les parois du moule. La partie inférieure de la tête rotative (qui supporte l'étage inférieur des rouleaux) comporte une zone lisse qui, lors de sa rotation et de sa montée, assure le lissage de la face interne du tuyau.

Au début du formage, la rondelle de base (qui réalise l'about femelle du tuyau) est soumise à des mouvements de vibration et de rotation pour permettre le compactage et la finition du collet. À la fin du formage, un anneau profilé rotatif réalise la finition de l'about mâle.

Les machines modernes utilisant ce procédé sont complètement automatisées, en particulier grâce à la programmation et à la régulation des vitesses de rotation et de déplacement de la tête. La régulation est faite à partir de la mesure du couple ou de la puissance absorbée par la rotation de la tête et des rouleaux.

Une amélioration récente de ces machines consiste à combiner la compression radiale avec une vibration pendulaire d'un noyau mobile. La tête de compression radiale est alors disposée à l'extrémité supérieure d'un noyau vibrant mobile.

Le débit d'alimentation en béton est aussi programmé et régulé. À l'issue du formage, le tuyau frais est transporté dans son moule jusqu'à l'aire (ou aux plates-formes) de démoulage. Les tuyaux sont alors stockés verticalement pendant environ 24 h pour permettre le durcissement nécessaire aux manutentions ultérieures.

Les machines utilisant cette technique peuvent fabriquer des tuyaux armés de diamètre 300 à 2 000 mm et de longueur entre 1 et 3,5 m, les longueurs les plus courantes étant 2,3 à 2,5 m. Les cadences de production sont élevées puisque la durée du cycle est de l'ordre de 2 min pour un tuyau de 400 à 600 mm de diamètre et de 2,5 m de longueur.

6.6 Vibration

Dans ce procédé, le béton est mis en place entre le moule et son noyau sous les effets combinés de la vibration et de la pesanteur. La vibration est transmise au béton pendant toute la durée du remplissage. Elle peut être produite et transmise selon quatre modes différents représentés en figure 32.

a) **Vibration interne** : une batterie d'aiguilles vibrantes réparties dans l'espace annulaire (entre le moule et le noyau) est relevée progressivement au fur et à mesure du remplissage.

b) **Noyau vibrant** : des vibreurs ou un arbre vibrant sont fixés à l'intérieur du noyau et lui communiquent une vibration circulaire.

c) **Vibration par le moule extérieur** : des vibreurs répartis sur la périphérie du moule lui communiquent des vibrations radiales.

d) **Vibrations sur table vibrante** : l'ensemble moule-noyau fixé sur une grosse table vibrante reçoit une vibration essentiellement verticale.

Ce procédé est surtout employé pour les tuyaux ou conduits de grand diamètre (2 000 à 7 000 mm) durcis en moule. Le noyau est souvent rétractable pour pouvoir le retirer dès que le béton présente la rigidité suffisante.

6.6.1 Vibration-compression à noyau fixe

Dans ce procédé, le béton mis en place entre le moule et le noyau est vibré (généralement par le noyau et quelquefois le moule extérieur), puis comprimé axialement par une tête équipée du profil d'emboîtement mâle (figure 33).

Ensuite, après déplacement de la tête de compactage, l'ensemble tuyau en béton plus moule extérieur est extrait du noyau (par l'action successive des vérins de démoulage, puis d'un treuil de pont roulant).

Après transport de cet ensemble sur l'aire de démoulage (sol de l'atelier ou plates-formes roulantes), la levée du moule à l'aide du pont roulant (après libération des liaisons moule-rondelle de base) permet le démoulage complet du tuyau. Celui-ci durcit sur sa rondelle de base qui peut être récupérée pour une nouvelle production (le lendemain).

Ce procédé est maintenant surtout employé pour la production de **tuyaux armés** d'assez gros diamètre (800 à 3 000 mm) avec des machines pouvant être équipées d'une double station de vibration-compression (pour améliorer la productivité).

Il est aussi très utilisé pour la production des éléments de **regards** (figure 34) ainsi que de tuyaux non armés de faible longueur (1 m) dans la gamme de diamètres 100 à 600 mm. Dans ce cas, les machines comportent un système de démoulage intégré (cadres mobiles pour la levée du moule et du regard supporté par sa rondelle de base).

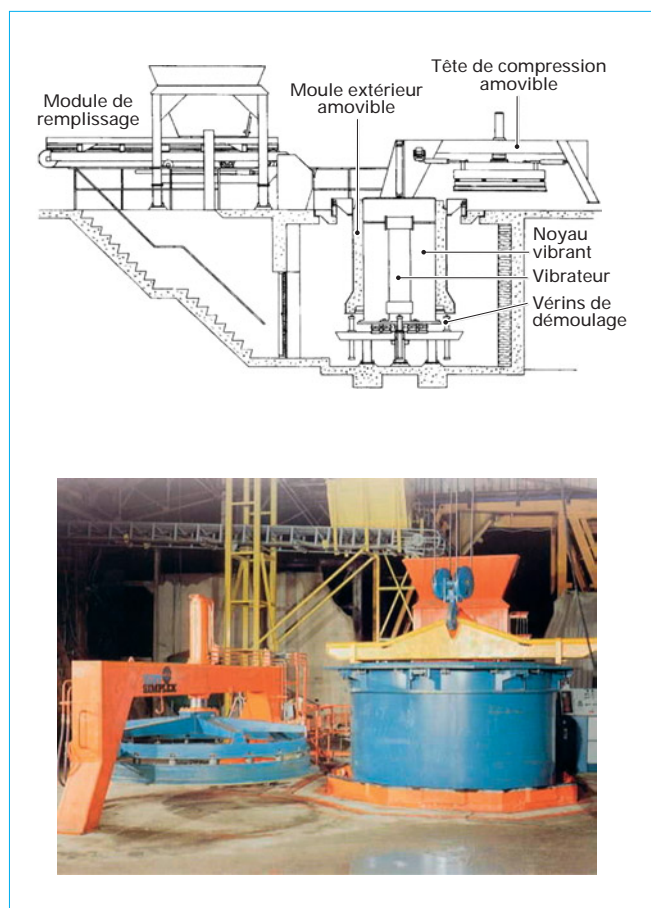


Figure 33 – Machine à noyau vibrant fixe pour gros tuyaux

Les regards sont transportés sur leur aire de durcissement (sans leur moule extérieur à l'aide de petits chariots manuels ou de ponts robotisés).

6.6.2 Vibration-compression à noyau mobile

Ce procédé diffère du précédent par le mouvement du noyau vibrant qui monte progressivement à l'intérieur du moule au fur et à mesure du remplissage (figure 35). Cela présente principalement trois avantages.

- **Remplissage du béton dans l'axe du tuyau**, ce qui évite les ségrégations liées au cheminement du béton autour de l'armature, comme dans le cas du remplissage dans l'épaisseur (surtout pour les faibles diamètres).
- **Distribution radiale du béton** par une tête rotative équipée d'ailettes, de « sabots » ou de galets, ce qui permet une distribution plus homogène et un précompactage radial du béton avant vibration (comme sur les machines à compression radiale ; le couple ou la puissance absorbée par cette tête est utilisé pour réguler la vitesse de montée du noyau et l'alimentation du béton).
- **Vibration plus intense dans la zone du compactage** autour de la tête (compte tenu du mouvement vibratoire semi-pendulaire du noyau) qui accélère le compactage.

À l'issue du remplissage, la tête de compression applique, à l'extrémité mâle du tuyau, une pression combinée à une rotation

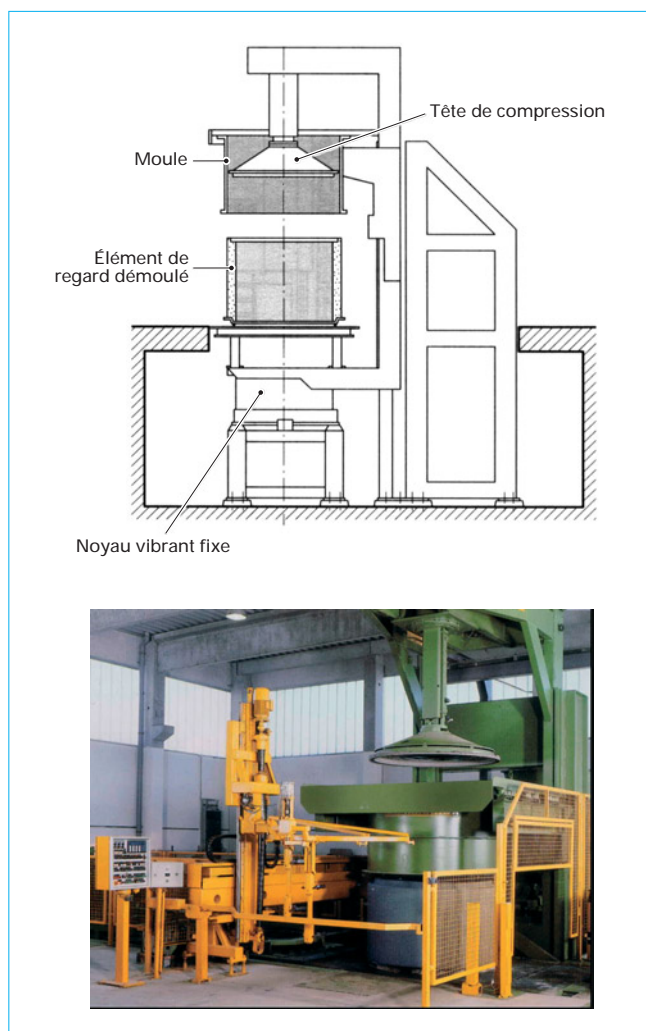


Figure 34 – Machine à noyau vibrant fixe pour regards

(pour la finition de surface de l'about). Sur des machines récentes la tête rotative de conception particulière (figure 36) permet le compactage de l'extrémité mâle sans tête de compression.

Le démoulage complet est réalisé sur la machine par la descente du noyau et la levée du moule. Le tuyau en béton est maintenu par la rondelle de base, elle-même supportée par une table rotative ou un pont démouleur. Après démoulage, le tuyau est transporté par un chariot, ou un pont robotisé, sur l'aire de durcissement. Pour limiter les déformations liées au transport sans le moule, les nouvelles générations de ces machines ne réalisent plus le démoulage complet qui est assuré par le robot de manutention sur la plateforme de démoulage. La machine est alors équipée d'un double jeu de moules et d'une table tournante pour permettre le démoulage externe en temps masqué.

Les machines récentes sont souvent conçues pour fabriquer deux ou trois tuyaux simultanément (selon les diamètres). La productivité est alors élevée : par exemple, en une heure, 45 tuyaux à collet de diamètre 400 mm et 2,5 m de longueur pour une machine à deux moules, 90 tuyaux de mêmes dimensions pour une machine à trois moules. Des tuyaux de diamètres différents peuvent être fabriqués simultanément sur ces machines (figure 37).

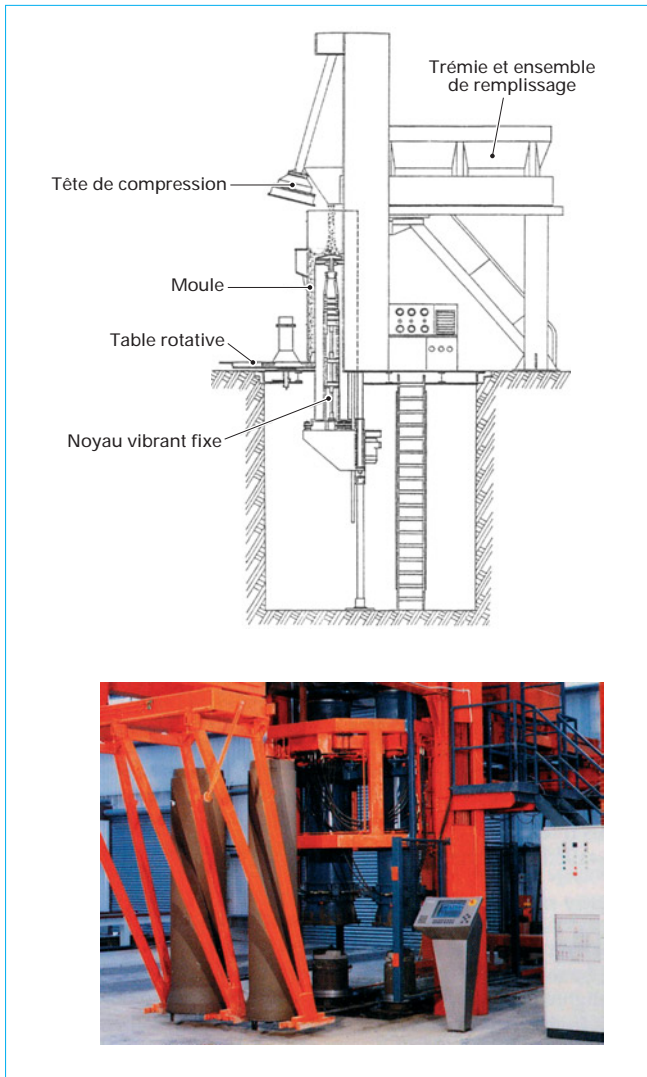


Figure 35 – Machine à noyau vibrant mobile pour tuyaux

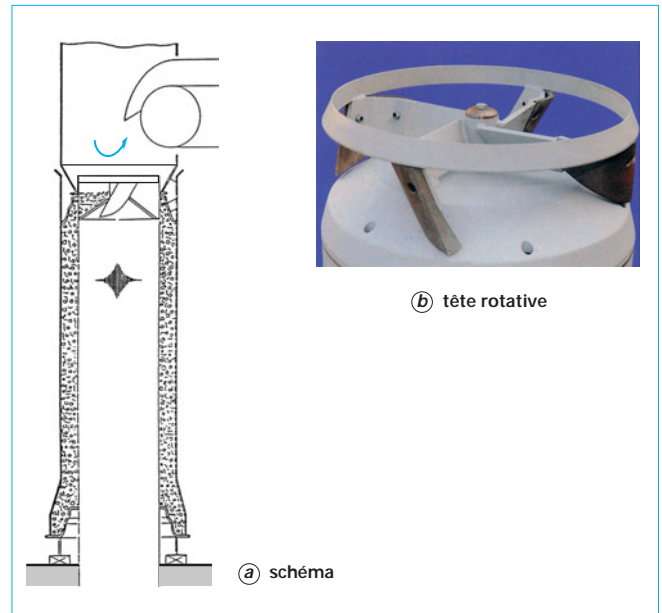


Figure 36 – Tête rotative pour le formage de l'about mâle



Figure 37 – Machine pour produire 2 ou 3 tuyaux simultanément