

# Composants préfabriqués en béton

## Fabrication de produits volumineux

par Jacques BRESSON

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

1.	Éléments de façade .....	C 2 263 - 2
1.1	Poste fixe dans des moules ou sur tables .....	— 2
1.2	Moules sur plateaux mobiles en lignes horizontales .....	— 2
1.3	Moules fixes en batterie .....	— 3
1.4	Démoulage immédiat .....	— 3
2.	Escaliers .....	— 3
3.	Composants de planchers .....	— 3
3.1	Éléments de planchers en béton armé .....	— 3
3.1.1	Poutrelles .....	— 3
3.1.2	Prédalles en béton armé .....	— 5
3.1.3	Dalles alvéolées en béton armé .....	— 6
3.2	Éléments de planchers en béton précontraint .....	— 6
3.2.1	Précontrainte par armatures adhérentes .....	— 6
3.2.2	Poutrelles en béton précontraint .....	— 6
3.2.3	Prédalles en béton précontraint .....	— 8
3.2.4	Dalles alvéolées en béton précontraint .....	— 8
4.	Poutres et poteaux .....	— 8
5.	Conduits .....	— 10
6.	Éléments en composite ciment-verre .....	— 11
7.	Produits en béton cellulaire autoclave .....	— 11
	Pour en savoir plus .....	Doc C 2 263v2

**L**a 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 des fabrications de produits volumineux ou précontraints, la méthode du démoulage différé (après durcissement du béton dans les moules) est utilisée. Les techniques employées pour chacune des étapes (remplissage, compactage, finition, etc.) de la production et les matériels correspondants (moules, tables, systèmes de remplissage et de compactage, etc.) sont choisis et organisés en fonction des dimensions des produits et des contraintes de manutention (produits lourds et volumineux).

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. Éléments de façade

Les éléments de façade sont le plus souvent fabriqués par coulage et durcissement de bétons de consistance plastique à fluide dans des moules de formes et de natures variées.

Plusieurs méthodes d'organisation de la production peuvent être appliquées en fonction des formes et dimensions des éléments ainsi que des séries à fabriquer.

### 1.1 Poste fixe dans des moules ou sur tables

Lorsque l'on doit produire des éléments de formes complexes ou une petite série d'éléments simples, la fabrication est effectuée dans des moules implantés à poste fixe dans un atelier équipé de moyens de manutention (pont roulant).

Toutes les opérations de préparation des moules, de mise en place des armatures et accessoires (huisseries, réservations, levage...), de coulage et compactage du béton, de finition ainsi que le durcissement et le démoulage, sont réalisées successivement sur le même poste fixe.

Ces postes peuvent être équipés de tables dites « tables de préfabrication » qui servent souvent de support pour la constitution des moules (figure 1).

Les moules métalliques ou composites (bois, plastique rigide, élastomères souples ou polystyrène expansé taillé) sont fixés sur ces tables. Ils peuvent être constitués à partir de profilés métalliques maintenus sur les tables par des systèmes de fixation.

Les tables comportent généralement un plateau métallique vibrant raidi par des poutrelles et un châssis rigide. La liaison plateau-châssis se fait souvent par des tiges filetées permettant le réglage de la planéité du plateau, la fixation de ces tiges étant réalisée par des plots élastomères. Ces plots ont pour objet de réduire fortement la transmission des vibrations du plateau au châssis.

Des systèmes de fixation magnétiques (figure 2), constitués de systèmes modulaires à base de puissants aimants permanents, sont de plus en plus utilisés car ils évitent la détérioration des plateaux des tables (par les soudages ou les perçages de fixation).

Ces tables peuvent être équipées de système de relevage en position verticale (figure 3) pour faciliter le démoulage au jeune âge (16 à 20 h) des grands éléments plans.

Des systèmes de chauffage (à la vapeur, par fluide chauffant, par résistance électrique ou panneaux radiants à gaz) équipent les tables pour permettre un chauffage du béton entre 50 et 70 °C et l'accélération du durcissement du béton. Cela permet d'obtenir les résistances nécessaires au démoulage (10 à 12 MPa) après 4 à 8 h de traitement.

L'utilisation d'un béton chaud obtenu par ajout d'eau chaude ou de vapeur dans le malaxeur, permet de réduire les durées nécessaires à l'échauffement du béton (en hiver des gains de 1 à 2 h sont possibles).

Les consommations d'énergie nécessaires à ces traitements dépendent essentiellement de la température maximale atteinte, de la durée du traitement et de l'isolation thermique de l'ensemble ; elle peut varier entre 10 et 30 kWh par tonne de béton.

Dans le cas des fabrications de grands éléments plans, certains ateliers disposent de supports auxiliaires placés à proximité directe des tables où les éléments reposent pendant 24 à 48 h. Cela permet d'éviter le transport à l'extérieur des éléments dont le béton est encore fragile et très sensible aux agressions climatiques (dessiccation par le vent ou gel en particulier). Il est possible dans ce cas de raccourcir la durée de durcissement et de démouler des grands éléments de façades dont la résistance est encore inférieure à 10 MPa.

Certains éléments de façade dits de coffrage sont constitués par deux voiles de béton reliés par une armature métallique du type



Figure 1 – Moule d'élément de façade constitué sur une table de préfabrication

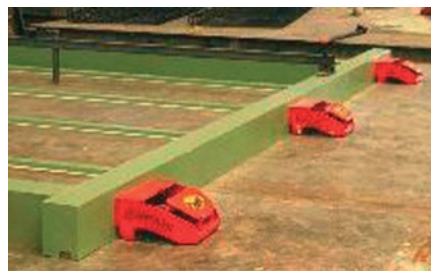


Figure 2 – Système de fixation magnétique pour les « joues » de moules



Figure 3 – Table de préfabrication relevable

treillis. Ils sont fabriqués en deux phases avec des tables du type portefeuille. Elles permettent le retournement complet du premier voile durci sur une table contenant le béton de l'autre plaque (figure 4).

### 1.2 Moules sur plateaux mobiles en lignes horizontales

Cette méthode, utilisée pour des fabrications en grande série, exige des investissements élevés. Les différents postes de travail sont fixes et répartis le long de plusieurs lignes de fabrication. Ces



Figure 4 – Fabrication de murs doubles avec table à retournement complet

lignes, équipées de galets fixés au sol ou de rails, permettent le déplacement des plateaux d'un poste à l'autre. Des chariots de transfert disposés aux extrémités ou au milieu des lignes permettent le passage des plateaux d'une ligne à l'autre (figure 5b).

Les principaux postes sont (figure 5a) :

- le nettoyage et l'huilage des plateaux ;
- la mise en place des revêtements éventuels de fond de moule et la fixation des côtés (joints) des moules sur les plateaux ;
- la mise en place des armatures et accessoires de levage ;
- la mise en place du béton à l'aide d'une trémie de distribution (équipée de vis ou de tapis répartiteurs) ;
- le compactage par vibration à l'aide de chevalets vibrants (vibration verticale) ou d'un châssis à vibration horizontale (dans les deux directions) ;
- la finition par règle vibrante ou talochage mécanique ;
- le stockage des plateaux dans un tunnel ou dans des râteliers (équipés d'un ascenseur) isolés thermiquement et éventuellement chauffés pour accélérer le durcissement ;
- le démoulage équipé d'une station de basculement, d'un pont roulant spécifique, éventuellement de chevalets mobiles pour les finitions et de chariots pour l'évacuation sur le parc de stockage.

### 1.3 Moules fixes en batterie

Surtout appliquée aux éléments de formes simples (refends, cloisons), cette méthode est destinée aux productions de masse en grande série.

Les moules métalliques sont disposés verticalement et coulissent sur des rails pour permettre leur écartement lors de la préparation et pour le démoulage (figure 6).

Les moules sont fortement serrés lors du coulage du béton, qui est souvent fluide. Il est transporté dans les moules par benne ou pompe à béton. Il est vibré par des vibreurs externes disposés dans les moules ou par une série d'aiguilles vibrantes qui sont remontées automatiquement au fur et à mesure du remplissage. Après durcissement accéléré pendant 3 à 5 h, les éléments peuvent être démoulés et préstockés en atelier.

### 1.4 Démoulage immédiat

La fabrication d'éléments plans (refends, cloisons) en grandes séries, peut être réalisée avec la technique du démoulage

immédiat. Cela nécessite l'emploi de bétons spéciaux présentant une très bonne cohésion au démoulage et de moyens de compactage très puissants.

Plusieurs installations ont été construites avec des techniques de compactage différentes :

- table vibrante à retournement (démoulage sur plateaux bridés lors du retournement) ;
- presse à haute pression permettant l'essorage du béton fluide avec un moule à fond filtrant (GO-CON®) ;
- presse vibrante (VIPRES®) de très grande capacité (3 m × 5 à 7 m).

## 2. Escaliers

Les escaliers monoblocs sont produits à partir de moules métalliques avec des techniques du type « durci en moule ».

Les moules sont en général réglables pour s'adapter aux dimensions des marches et des volées.

Pour les escaliers à volée droite, les moules sont le plus souvent disposés verticalement sur la tranche (figure 7). Cela permet en particulier l'utilisation de bétons autoplacants.

Après avoir positionné les armatures et les inserts de manutention, le béton de consistance plastique est introduit en partie supérieure. Il est mis en place et compacté par une vibration externe (vibrateurs fixés sur l'ossature) ou une vibration interne (aiguille vibrante).

Certaines fabrications de volées droites sont réalisées dans des moules à réglage mécanisé rapide, disposés horizontalement (figure 8).

Les escaliers monoblocs balancés sont fabriqués dans leur position d'emploi à l'aide de moules complexes et réglables (figure 9).

Le dessus des marches étant ouvert pour permettre le talochage de la face supérieure, il est nécessaire, pour ces fabrications, d'utiliser un béton peu plastique afin d'éviter son écoulement vers le bas.

Pour les escaliers de forme simple, les machines à retournement (voir [C 2 262, § 5]) sont souvent employées pour fabriquer les divers composants : marches indépendantes droites ou hélicoïdales, limons droits...

De nombreuses fabrications de marches simples se font sur tables vibrantes avec des supports et des moules spéciaux permettant un démoulage immédiat.

Les faces vues des marches indépendantes sont susceptibles d'être grésées et fraisées sur des machines spéciales. D'autres traitements, utilisant par exemple le lavage immédiat ou retardé, sont quelquefois réalisés, en particulier pour les marches extérieures.

## 3. Composants de planchers

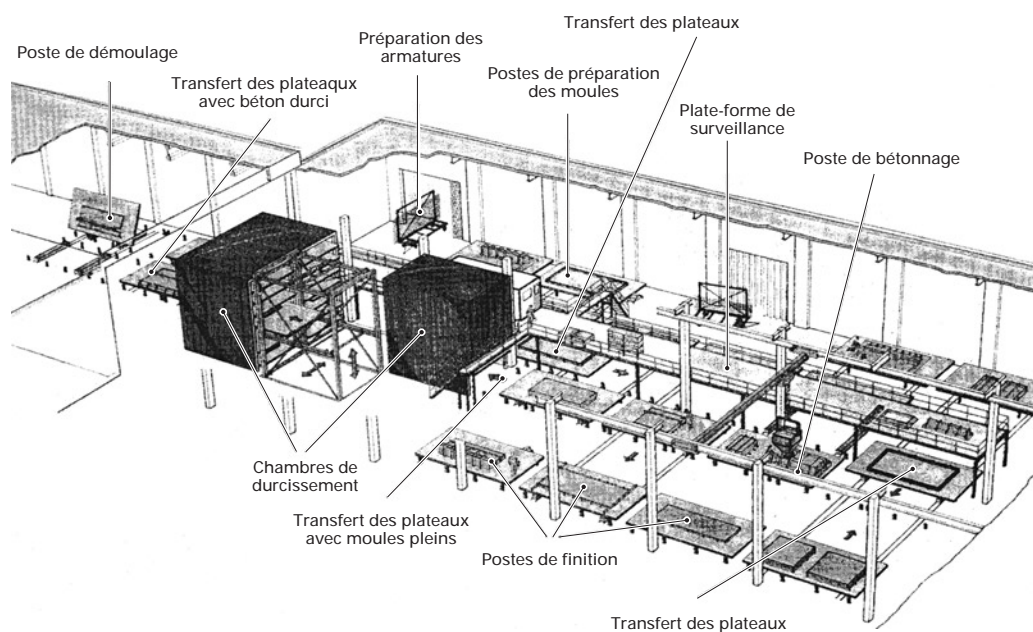
Les éléments de planchers tels que poutrelles, prédalles et dalles alvéolées, peuvent être produits soit en béton armé, soit en béton précontraint.

### 3.1 Éléments de planchers en béton armé

#### 3.1.1 Poutrelles

■ Les **poutrelles à treillis métalliques**, constituées d'une armature à treillis enrobée à sa partie inférieure par un talon de béton, sont fabriquées par coulage du talon autour de l'armature ou par enfoncement de l'armature dans le béton (figure 10).





Ⓐ schéma de l'atelier de fabrication



Ⓑ plateaux mobiles en ligne avec chariots de transfert

Figure 5 – Fabrication en ligne sur plateaux mobiles

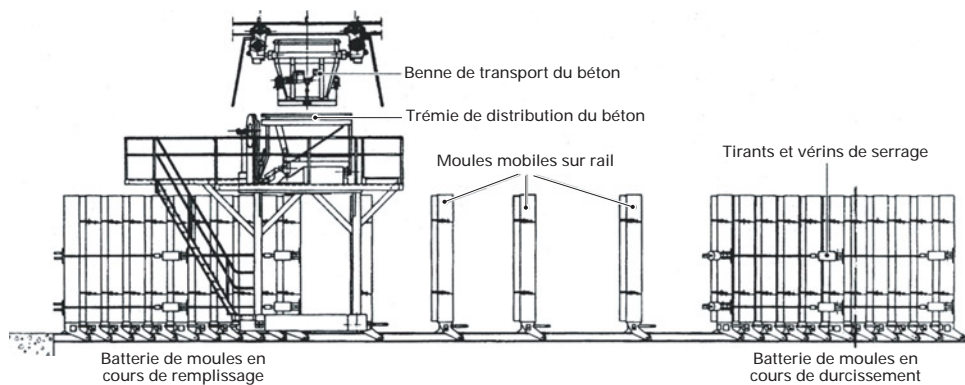


Figure 6 – Moules en batterie

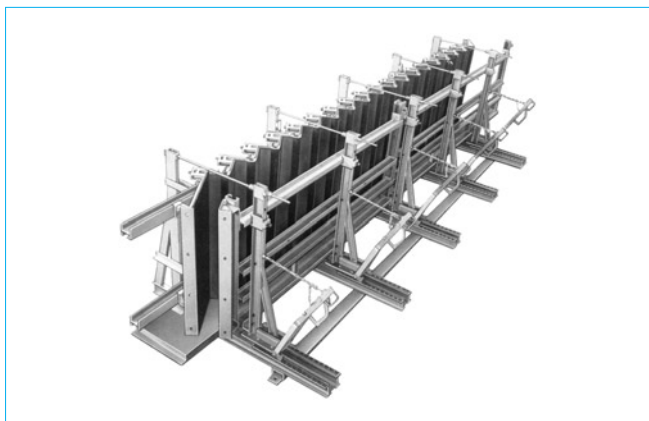


Figure 7 – Moule pour volée d'escalier droite

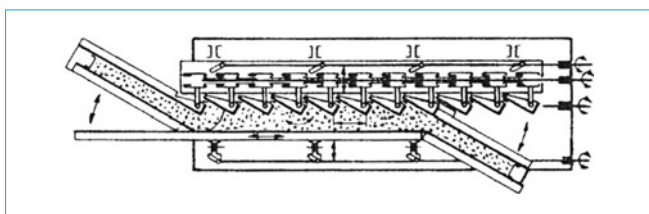


Figure 8 – Moule pour volée d'escalier à réglage mécanisé rapide



Figure 9 – Moule réglable pour escalier monobloc balancé

Les armatures sont constituées d'aciers tréfilés nervurés pliés et assemblés par soudage automatique dans des aciéries spécialisées ou directement dans les usines de produits en béton.

Les moules sont constitués par des fers U disposés côte à côte sur une aire plane en béton ou sur une table de coffrage métallique. Le béton utilisé est plastique ou fluide (teneur en eau 8 à 9 %, dosage en ciment 16 à 18 %). Il est vibré par l'intermédiaire des fers U ou le plus souvent directement par l'armature qui est enfoncée dans le béton sous vibration.



Figure 10 – Aire de production de poutrelles à treillis métalliques



Figure 11 – Fabrication de prédalles sur plateaux mobiles et mise en place robotisée des armatures

Suivant l'importance de l'aire de coulage et les moyens éventuellement utilisés pour accélérer le durcissement (une dalle chauffante électrique est quelquefois utilisée), la capacité de production des usines varie de 10 000 à 50 000 m de poutrelles par mois.

■ Les **poutrelles en forme de T renversé** sont fabriquées par moulage du béton dans un moule à joues métalliques présentant le contre-profil de la poutrelle. Le fond du moule est constitué par des planches en bois ou un fer U renversé reposant sur des tables vibrantes. Après coulage du béton et vibration, les poutrelles sont démoulées immédiatement par glissement et écartement des joues. Elles sont ensuite stockées sur leur support pendant le durcissement qui peut être accéléré par traitement thermique (par exemple 7 h à 60 °C).

### 3.1.2 Prédalles en béton armé

■ La fabrication de prédalles en béton armé se fait le plus souvent **sur des plateaux mobiles** circulant sur des lignes avec transferts (carrousel) et étuves pour le durcissement accéléré. Les différents postes de travail (traçage automatique des dimensions, mise en place des règles de coffrage, préparation et mise en place des armatures [treillis et raidisseurs], remplissage et vibration du béton, démoulage et palettisation des prédalles, nettoyage...) sont fixes et organisés autour du cheminement des tables ; certains peuvent ainsi être automatisés ou robotisés.

■ La fabrication des prédalles en béton armé se fait aussi **sur de grandes tables métalliques fixes** (24 × 2,5 m par exemple) (figure 11). Le béton est mis en place et serré à l'aide d'aiguilles vibrantes ou d'un châssis vibrant coulissant sous les tables. La surface est ratisée pour créer une bonne rugosité. Après un durcis-

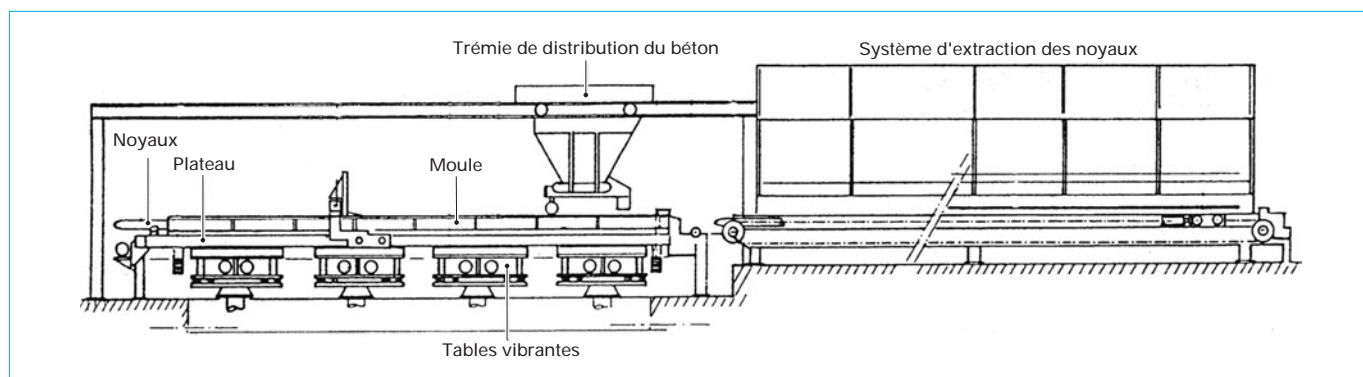


Figure 12 – Machine à dalles alvéolées avec extracteur de noyaux

sement accéléré, la manutention est faite par l'intermédiaire d'un palonnier. Le transport et le stockage sont également effectués à plat avec un calage approprié. La capacité de production d'une usine équipée de 4 tables peut atteindre 20 000 m<sup>2</sup> de prédalles par mois.

### 3.1.3 Dalles alvéolées en béton armé

Les dalles alvéolées en béton armé (système WEBO®) sont fabriquées en démoulage immédiat sur des plateaux empilables. Des machines spécifiques équipées d'un système d'extraction des noyaux sont conçues pour produire des éléments de 6 à 8 m de long et 0,5 à 0,6 m de largeur pour des épaisseurs de 0,12 à 0,22 m.

Ces machines automatiques sont équipées principalement d'un ensemble de distribution du béton, de tables vibrantes, d'un système de démoulage sur plateaux (démoulage direct ou par retournement) et du système d'extraction des noyaux (figure 12). Après démoulage, les produits sont durcis sur leurs plateaux qui sont empilés dans un tunnel éventuellement équipé de systèmes de chauffage. Le cycle de travail de ces machines se situe entre 3 et 4 min et la production peut atteindre 500 m<sup>2</sup> par jour (pour un poste de 8 h).

## 3.2 Éléments de planchers en béton précontraint

### 3.2.1 Précontrainte par armatures adhérentes

Cette technique est très utilisée pour la production d'éléments de planchers tels que poutrelles, prédalles, dalles alvéolées ainsi que pour de nombreux composants de structure du type poutres, pannes, bardages couvertures. On l'utilise également pour les traverses de voies ferrées, pour les poteaux de lignes et d'éclairage, pour des pieux ou certains tuyaux.

Elle consiste à tendre des armatures en acier à haute limite élastique et à mouler ensuite l'élément autour de ces armatures tendues. Lorsque le béton a atteint une résistance suffisante (en général 25 à 45 MPa), les armatures sont relâchées, ce qui a pour effet de mettre l'élément en précontrainte (figure 13).

### 3.2.2 Poutrelles en béton précontraint

Les poutrelles en béton précontraint par armatures adhérentes sont fabriquées sur des bancs de grande longueur (80 à 120 m) constitués généralement d'un socle en béton (de 25 à 30 cm d'épaisseur) et de deux longrines en béton armé reliant les massifs d'ancrage des aciers et encaissant les efforts de tension des aciers de précontrainte.

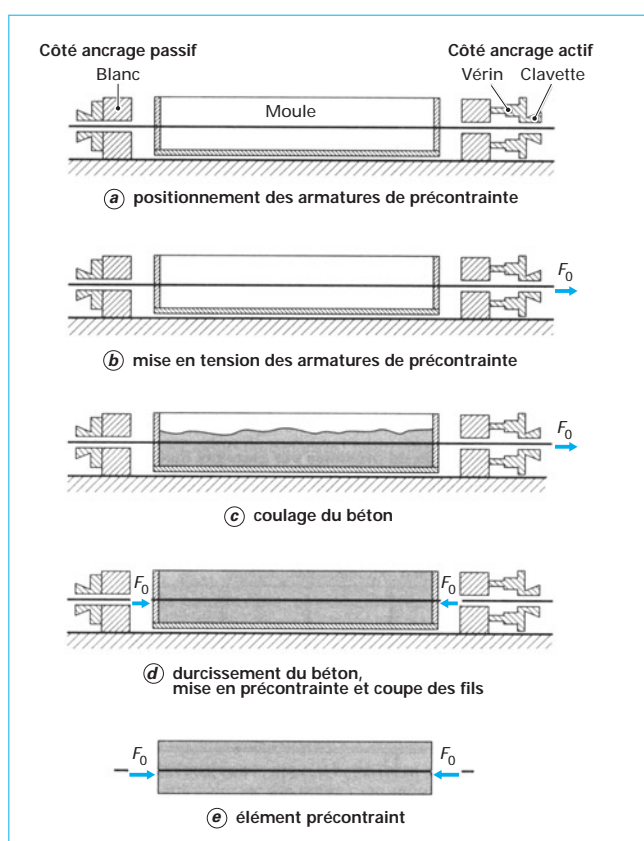


Figure 13 – Principe de la précontrainte par armatures adhérentes

Suivant la largeur des bancs (1,5 à 3 m), les efforts encaissés par le banc varient de 2 000 à 3 000 kN (figure 14).

Le banc de précontrainte est équipé de moules ou d'une piste de moulage (tôles d'acier de 10 à 12 mm d'épaisseur et de 7 m de long, assemblées bout à bout). Des éléments chauffants sont disposés de façon à assurer un chauffage homogène des moules ou de la piste. Ces éléments chauffants peuvent être des tubes à fluide chauffant (eau, vapeur ou huile) ou des résistances électriques linéaires à isolement minéral (puissance installée par banc : 350 à 700 kW).



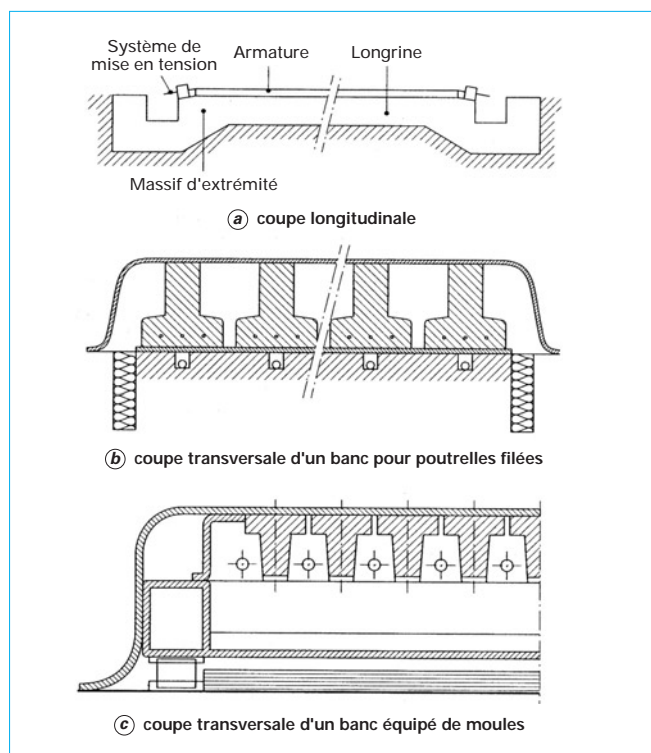


Figure 14 – Schéma de principe d'un banc de précontrainte

La fabrication commence par la préparation de la piste (nettoyage et huilage) ou des moules. Les aciers (préalablement coupés à la longueur) sont mis en place et équipés de leurs cônes d'ancrage. Le plus souvent, la tension est assurée simultanément pour tous les fils d'un banc. Elle est contrôlée par la pression hydraulique des vérins de mise en tension et par l'allongement des fils (3 à 7 fils par poutrelle et 10 à 22 rangées de poutrelles suivant la largeur utile du banc).

La mise en place du béton peut se faire par moulage ou filage selon les systèmes de planchers.

■ Dans le **système Rector** (figure 15), les poutrelles sont moulées à l'envers dans des moules disposés sur toute la largeur du banc (jusqu'à 24 rangées de poutrelles). L'écartement des moules est donné par des peignes métalliques mobiles qui contribuent à délimiter les poutrelles à la longueur voulue et assurent le positionnement des fils. Le moule permet la fabrication de divers types de poutrelles. Des profilés en caoutchouc placés au fond des moules et de hauteur appropriée à celle de la poutrelle, assurent le maintien des crochets et étriers éventuels.

Ces fonds de moule en caoutchouc ont un profil permettant le crantage de la face supérieure des poutrelles. Le bétonnage s'effectue avec un chariot à trémie de la largeur du banc. Ce chariot est équipé d'une herse vibrante qui serre le béton après réglage préalable. Après durcissement accéléré du béton, le dispositif de serrage transversal des moules est enlevé et les aciers sont détendus. Le démoulage est effectué à l'aide d'un palonnier sur rail qui, dans certains cas, peut prendre en une seule opération l'ensemble des poutrelles du banc en permettant ainsi sa réutilisation rapide.

■ Dans les **autres systèmes** (KP1, SEAC...) la mise en place du béton est réalisée par l'intermédiaire de filières mobiles ou fileuses (figure 16). Dans ces machines, le béton contenu dans une trémie est déversé dans une filière ou un moule glissant, dont les profils



Figure 15 – Poutrelles précontraintes moulées à l'envers (Rector)



Figure 16 – Fileuse pour poutrelles précontraintes

sont adaptés aux poutrelles. Après compactage du béton par des patins ou des aiguilles vibrantes à haute fréquence (100 à 150 Hz), les mouvements alternatifs de la filière ou des parois du moule assurent le démoulage immédiat des poutrelles. Ces machines permettent de filer simultanément de 8 à 22 rangées de poutrelles avec une vitesse d'avancement de 1,5 à 2,5 m par minute.

■ Dans tous les cas, le durcissement des poutrelles moulées ou filées est accéléré par le traitement thermique. Avant traitement, les poutrelles sont recouvertes de bâches étanches et isothermes.

Après un prétraitement de 30 min à 1 h à une température de 25 à 30 °C, le béton est chauffé à une température comprise entre 65 et 80 °C en 1 h 30 à 2 h, puis maintenu à cette température pendant 2 à 4 h. Le relâchement des fils de précontrainte est réalisé après refroidissement jusqu'à 50 °C environ, alors que le béton a acquis une résistance à la compression de 25 à 35 MPa.

Les résistances en fin de traitement sont toujours contrôlées sur des éprouvettes témoins ayant subi le même traitement. Les consommations d'énergie nécessaires au traitement thermique varient entre 10 et 15 L de fuel domestique par tonne de béton dans le cas de chauffage à la vapeur, ou 25 à 35 kWh par tonne dans le cas de chauffage électrique.

Les traitements courts utilisés (6 à 8 h) et les méthodes de moulage et de démoulage rapides permettent de réaliser généralement deux fabrications par jour sur un même banc (dans certains cas

trois fabrications sont possibles). La capacité de production d'un banc de précontrainte peut atteindre 2 500 à 3 000 m par jour. Les usines sont généralement équipées de 2 à 4 bancs.

### 3.2.3 Prédalles en béton précontraint

■ La fabrication des prédalles précontraintes s'effectue plus généralement **sur des bancs de grande longueur** semblables à ceux utilisés pour les poutrelles précontraintes. Après mise en place de séparateurs permettant de délimiter la longueur des prédalles et des réservations, les armatures sont mises en tension.

Le béton assez plastique (dosage en eau 8 % environ, dosage en ciment 18 à 20 %) est mis en place par une machine à marche lente continue. La vibration est transmise au béton par une batterie de patins métalliques ou d'aiguilles vibrantes, tandis que la rugosité nécessaire à la surface des prédalles est obtenue soit par ratissage, soit par un système de mollettes ou de griffes spéciales qui impriment des reliefs sur le béton frais.

Le durcissement du béton est accéléré par traitement thermique. La résistance au relâchement des fils de précontrainte est atteinte (28 à 32 MPa en compression) après 6 à 8 h de durcissement.

Une usine équipée de deux bancs de 80 m de long (figure 17) peut produire 350 m<sup>2</sup> de prédalles par jour en une fabrication. Suivant la rapidité de fabrication et de traitement, il est possible d'effectuer deux ou trois fabrications par jour.

■ Un système de fabrication de prédalles précontraintes a été développé par **Rector** sur le principe des plateaux mobiles. Ceux-ci sont autorésistants pour reprendre les efforts de précontrainte. La mise en tension est effectuée par un « tensionneur » qui se déplace latéralement d'un poste à l'autre sur le chemin de roulement des plateaux (figure 18).



Figure 17 – Banc de fabrication de prédalles précontraintes



Figure 18 – Plateau mobile pour la fabrication de prédalles précontraintes

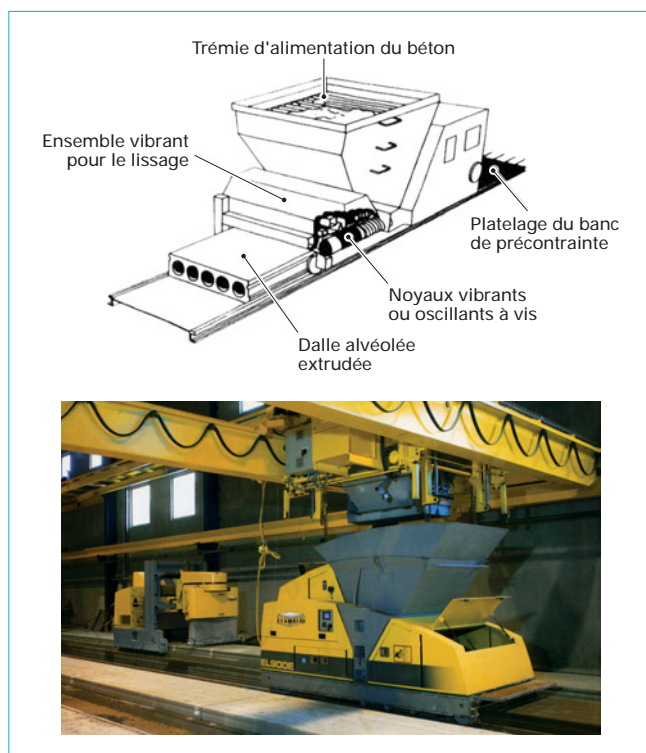


Figure 19 – Extrudeuse pour dalles alvéolées précontraintes

### 3.2.4 Dalles alvéolées en béton précontraint

La fabrication des dalles alvéolées en béton précontraint s'effectue sur des bancs de 80 à 200 m de long. Après mise en place et tension des armatures de précontrainte, les éléments sont moulés à l'aide de machines fileuses ou extrudeuses (machines Roth, Weiler, Spiroll, etc.) qui possèdent des noyaux vibrants capables de former les alvéoles.

Dans les machines extrudeuses (figure 19) les noyaux sont rotatifs et équipés de vis dont le mouvement de rotation crée une poussée qui assure l'alimentation du béton dans la zone de compactage et son compactage partiel. Le compactage final est assuré par une zone vibrante ou oscillante derrière la vis. Une zone lisse sans vibration assure la finition et le maintien du béton à l'arrière des noyaux. La réaction de la poussée de la vis permet l'avancement de la machine. La vitesse d'avancement se situe entre 1,5 et 2,5 m/min.

La coupe en longueur peut s'effectuer sur béton frais à l'aide de couteaux vibrants, ou sur béton durci à l'aide de scies automatisées. La production peut être de 1 200 à 3 000 m<sup>2</sup>/jour dans une usine équipée de 6 à 8 bancs.

## 4. Poutres et poteaux

La fabrication des éléments d'ossatures du type poteaux, poutres, pannes, éléments de toitures est généralement réalisée par mise en place et durcissement du béton dans des moules métalliques fixes, de grande longueur. Selon qu'il s'agit d'éléments en béton armé ou précontraint, les moules sont disposés sur des lignes courtes (8 à 20 m pour le béton armé) ou longues (40 à 120 m pour le béton précontraint).





Figure 20 – Moule pour éléments de toiture précontraints

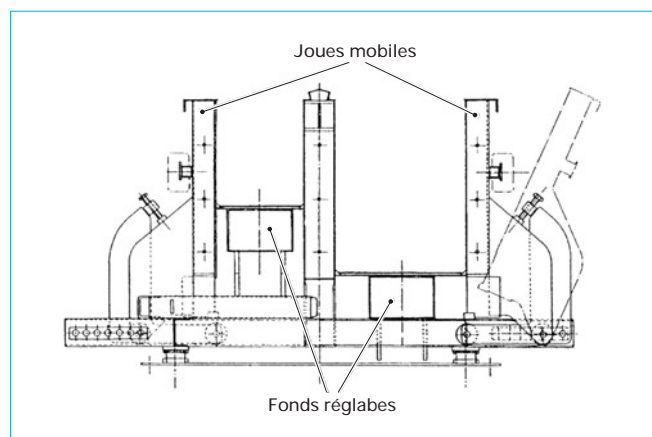


Figure 21 – Coupe d'un moule double réglable pour poutres ou poteaux

Pour des poutres de grandes dimensions ou de formes complexes, par exemple I variables, T ou double T, jusqu'à 2 m de haut et 30 m de longueur, on utilise des moules simples à ouverture manuelle ou mécanisée.

De grands moules avec des contre-formes amovibles sont utilisés pour la fabrication des grands éléments de toitures généralement précontraints (figure 20).

Pour des dimensions et des formes plus courantes I, rectangle..., les moules sont souvent doubles avec un élément central fixe et des joues mobiles à ouverture mécanisée. Des systèmes de réglage de la hauteur des fonds de moule permettent la réalisation de sections variées (figure 21).

Pour la production en série de poteaux armés, de section carrée ou rectangulaire, on peut utiliser des moules en batteries (figure 22).

Pour la production de petites poutres ou pannes directement démontables sans ouverture de moule, on utilise des moules multiples monolithiques, dont les dépouilles sont adaptées (10 à 15 % dans le cas de la précontrainte) (figure 23).

Les poteaux sont le plus souvent en béton armé et produits par coulage et durcissement de béton autoplaçant (BAP) dans des moules ouvrants. Les poutres et pannes sont par contre le plus souvent précontraintes.

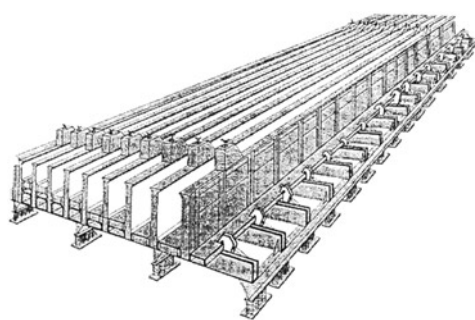


Figure 22 – Moules en batteries pour la production de poteaux en béton armé

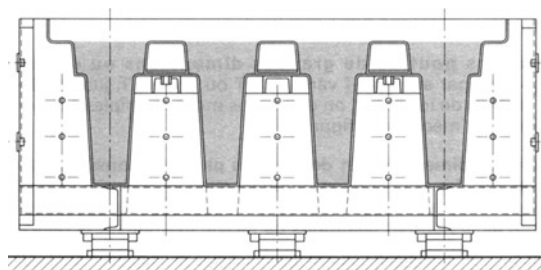


Figure 23 – Moule multiple monolithique pour pannes



Figure 24 – Banc de précontrainte pour poutres

La fabrication des poutres précontraintes se fait sur des bancs équipés de moules de section appropriée aux éléments à produire. Les moules sont souvent continus sur toute la longueur du banc. La longueur des bancs se situe entre 30 et 100 m et leur capacité de tension entre 3 000 et 10 000 kN (figure 24).

Les moules sont équipés de plaques de séparation et d'extrémités perforées pour permettre le passage des aciers de précontrainte. Ces plaques délimitent les zones de bétonnage sur les longueurs correspondant à celles des poutres.

Les aciers de précontrainte utilisés pour les poutres sont en général des torons à 7 fils (1 fil central et 6 fils périphériques de diamètre nominal 6 à 16 mm de la classe de résistance 1 860 MPa) qui doivent être conformes aux projets de normes pr EN 10138 - 1 à 4 ou être homologués (liste établie par la Commission inter-

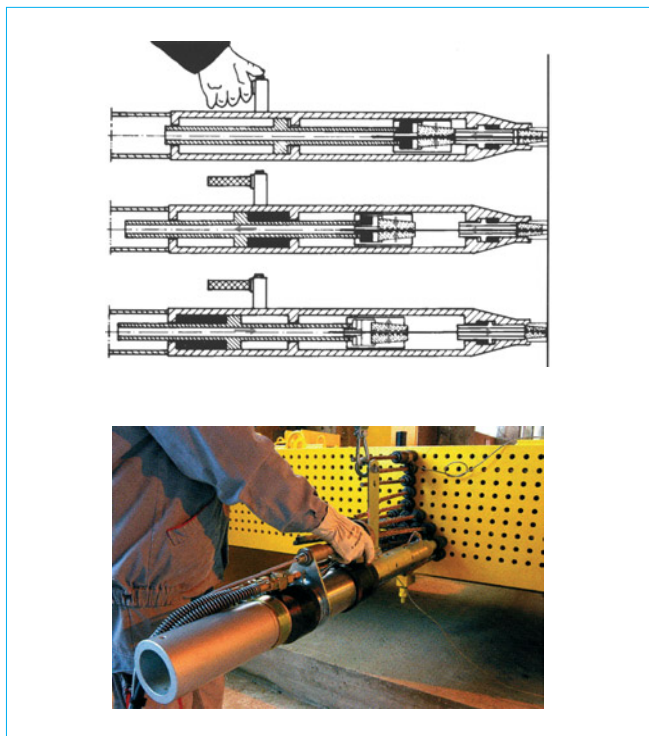


Figure 25 – Vérins unifilaires de mise en tension pour torons

ministérielle de la précontrainte, dont le secrétariat est assuré par le LCPC).

Après montage des armatures passives (étriers, armatures complémentaires non précontraintes équipées des inserts et dispositifs de manutention), les torons sont enfilés dans celles-ci et dans les plaques d'extrémités. Ils sont ensuite ancrés dans les têtes d'extrémités du banc, puis mis en tension à l'aide de vérins spéciaux (figure 25). La phase finale de la préparation des moules est la fermeture et le blocage des joues de moule.

Le béton est mis en place à l'aide de bennes ou de distributeurs motorisés et simultanément vibré soit par des vibreurs externes fixés sur les moules, soit à l'aide d'aiguilles vibrantes. Ces appareils de vibration sont déplacés au fur et à mesure de l'avancement du coulage du béton.

On utilise de plus en plus les bétons autoplacants (BAP) qui permettent un remplissage beaucoup plus rapide et ne nécessitent plus de vibration (figure 26).

Après lissage des appuis supérieurs et éventuellement crantage du béton entre les étriers, les moules sont recouverts d'une bâche étanche et thermiquement isolante.

Des systèmes de chauffage (tubulures de vapeur ou résistances électriques linéaires) permettent la réalisation d'un cycle de traitement thermique destiné à accélérer le durcissement et à permettre la détention des aciers après 12 à 24 h (pour les poutres).

Le cycle de traitement comprend généralement une préprise de 1 h à 3 h, une montée progressive en température (15 à 30 °C), un maintien à la température maximale (50 à 70 °C) pendant 2 à 6 h, et un refroidissement naturel jusqu'à 30 ou 40 °C pendant 8 à 12 h.

Après ce traitement, la résistance du béton dépasse généralement 35 à 45 MPa à la compression.

Le démoulage des éléments se fait après l'ouverture des moules, le relâchement et la coupe des aciers de précontrainte. Les poutres



Figure 26 – Coulage de béton autoplacant



Figure 27 – Moules pour conduits de hauteur d'étage

sont préstockées en atelier pour les finitions et pour éviter les chocs thermiques ou les dessiccations qui pourraient être provoqués par des conditions climatiques extérieures défavorables.

## 5. Conduits

Deux modes de fabrication très différents sont utilisés pour les conduits, selon qu'ils sont du type hauteur d'étage ou plus (jusqu'à 6 m) ou du type manuable de hauteur souvent limitée à 0,33 m.

Lorsqu'ils sont destinés à la ventilation, les conduits sont souvent fabriqués à partir de bétons de granulats courants. Lorsqu'il s'agit de conduits de fumée, on utilise souvent des bétons à base de granulats de pouzzolane, ou d'argile expansée.

- Pour les **conduits de hauteur d'étage**, la fabrication s'effectue en position horizontale avec des moules et des noyaux métalliques (figure 27). Ces derniers présentent une dépouille de l'ordre de 1 % sur leur longueur pour faciliter leur extraction par une extrémité.

Après mise en place des armatures dans le moule, le béton de consistance plastique est coulé, vibré puis taloché. La vibration est transmise au moule par des vibreurs fixés sur les parois ou les noyaux, ou dans certains cas par des chevalets vibrants.

Les noyaux creux sont souvent équipés pour recevoir une injection de vapeur destinée à accélérer la prise et le début du durcissement du béton.

Après 2 à 3 h de ce prédurcissement, les noyaux sont extraits. Les conduits sont ensuite maintenus dans les moules recouverts

d'une bâche isolante, jusqu'à ce que le durcissement du béton soit suffisant (résistance en compression comprise entre 8 et 10 MPa obtenue après 6 à 12 h) pour permettre le démoulage complet et la manutention des produits.

- Pour les **conduits manuyportables**, de hauteur 0,25 ou 0,33 m (souvent appelés boisseaux), la fabrication est réalisée selon la technique du démoulage immédiat sur des machines du type presses vibrantes.

Sur certaines machines spécifiques, après remplissage et compactage sous vibration, le démoulage est réalisé par éjection des produits (2 à 6 par moule) au-dessus du moule.

Des embases métalliques appelées lunettes sont introduites dans les alvéoles du moule, avant remplissage et servent de support aux produits frais pendant leur démoulage, leur transport et leur durcissement. Elles donnent aux produits leur profil inférieur permettant leur emboîtement.

Les conduits du type boisseaux sont aussi fabriqués sur des presses vibrantes classiques (voir [C 2 262, § 1]) à condition que celles-ci soient équipées d'un dispositif du type « tire-tôle ». Ce dispositif introduit entre le moule et la planche pendant les opérations de formage et retiré juste avant le démoulage, permet de réaliser le profil d'emboîtement inférieur des boisseaux.

## 6. Éléments en composite ciment-verre

Le CCV (composite ciment verre), dénomination française de Glass Fiber Reinforced Cement (GRC) ou de Glasfaserbeton (GFB) est un microbéton riche en ciment (rapport sable/ciment  $\approx 1$ ), dans lequel des fils de verre (100 à 200 filaments de diamètre unitaire 10 à 30  $\mu\text{m}$ ) sont incorporés lors du malaxage (technique du prémix) ou de la mise en œuvre, selon une technologie directement issue des composites verre polyester : la projection simultanée.

Le microbéton apporte au CCV ses qualités intrinsèques (moulabilité, diversité des parements...). Quant à la fibre de verre, elle lui confère un comportement mécanique pseudoductile qui autorise la création de produits minces donc légers : 20 kg/m<sup>2</sup> en 10 mm d'épaisseur.

Les qualités du CCV (légèreté, moulabilité, incombustibilité, imputrescibilité, performances mécaniques) sont mises à profit pour la réalisation d'une large variété de produits non structurels destinés au bâtiment (éléments de façades, encadrements de baies, claustras, balcons, éléments de toitures...), au génie civil (corniches, écrans, caniveaux, conduits) ou à l'environnement (bacs à fleurs, conteneurs de déchets, rochers artificiels...).

Le développement de l'utilisation du CCV date des années 1980, il résulte de la mise au point de solutions pour garantir à long terme les propriétés mécaniques des produits soumis aux intempéries et aux contraintes. Ces solutions sont :

- l'utilisation de fibres de verre AR (alcalirésistantes), car la fibre de verre classique (type E) est attaquée par les alcalins du ciment ;
- l'ajout de polymères acryliques qui apportent une protection supplémentaire des fibres, réduisent la porosité du microbéton et simplifient les conditions de cure ;
- l'addition de fines pouzzolaniques qui, en réagissant avec la chaux formée lors de l'hydratation du ciment, évitent la formation de gros cristaux fragilisant les fibres.

Les formulations actuellement utilisées dites 5/5 en projection simultanée (5 % de fibres en masse et 5 % de polymères en volume) et 3/5 en prémix, présentent un compromis entre une assez bonne durabilité et un coût raisonnable.

La normalisation européenne des CCV en cours depuis 1990 au sein du CEN TC 229 « Produits préfabriqués en béton », a conduit à l'élaboration de 9 normes d'essais (ENV 1170, pr EN 1169 et pr EN

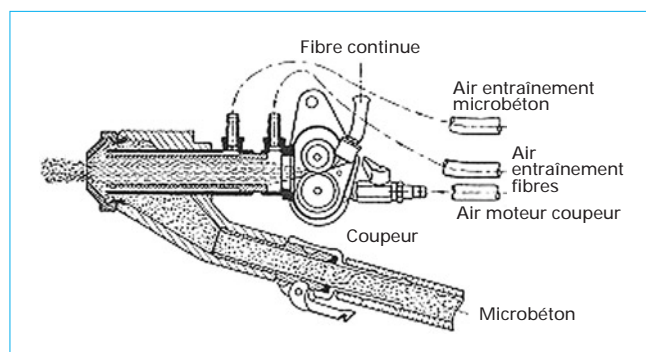


Figure 28 – Pistolet à buses concentriques pour la projection simultanée de CCV



Figure 29 – Bras robotisé pour la projection simultanée de CCV

1170 - 1 à 7) et d'un projet de norme de classification des performances. Ce dernier projet propose la désignation des CCV par leurs trois caractéristiques essentielles et indépendantes (valeurs garanties à 95 % à 28 jours), par exemple :

$\swarrow$  — LOP (limite élastique) en MPa  
 $\searrow$  — MOR (limite de rupture) en MPa  
**CCV 10 / 20 / 0,6** —  $\epsilon_r$  (déformation à la rupture) en %

La fabrication d'éléments en CCV par projection simultanée fait appel à des matériaux spécifiques tels que pompes et pistolets à buses concentriques (figure 28) pour de grandes séries, elle peut être réalisée à l'aide de bras robotisés (figure 29).

## 7. Produits en béton cellulaire autoclave

Le béton cellulaire est un microbéton très léger, résistant et isolant ; sa masse volumique se situe entre 450 et 600 kg/m<sup>3</sup>, sa résistance en compression entre 3 et 6 MPa, sa conductivité thermique entre 0,17 et 0,22 W/m<sup>2</sup> · K.

Il se présente sous la forme de produits finis de couleur blanche, faciles à travailler et à mettre en œuvre ; ce sont des blocs pour



## La fabrication du béton cellulaire

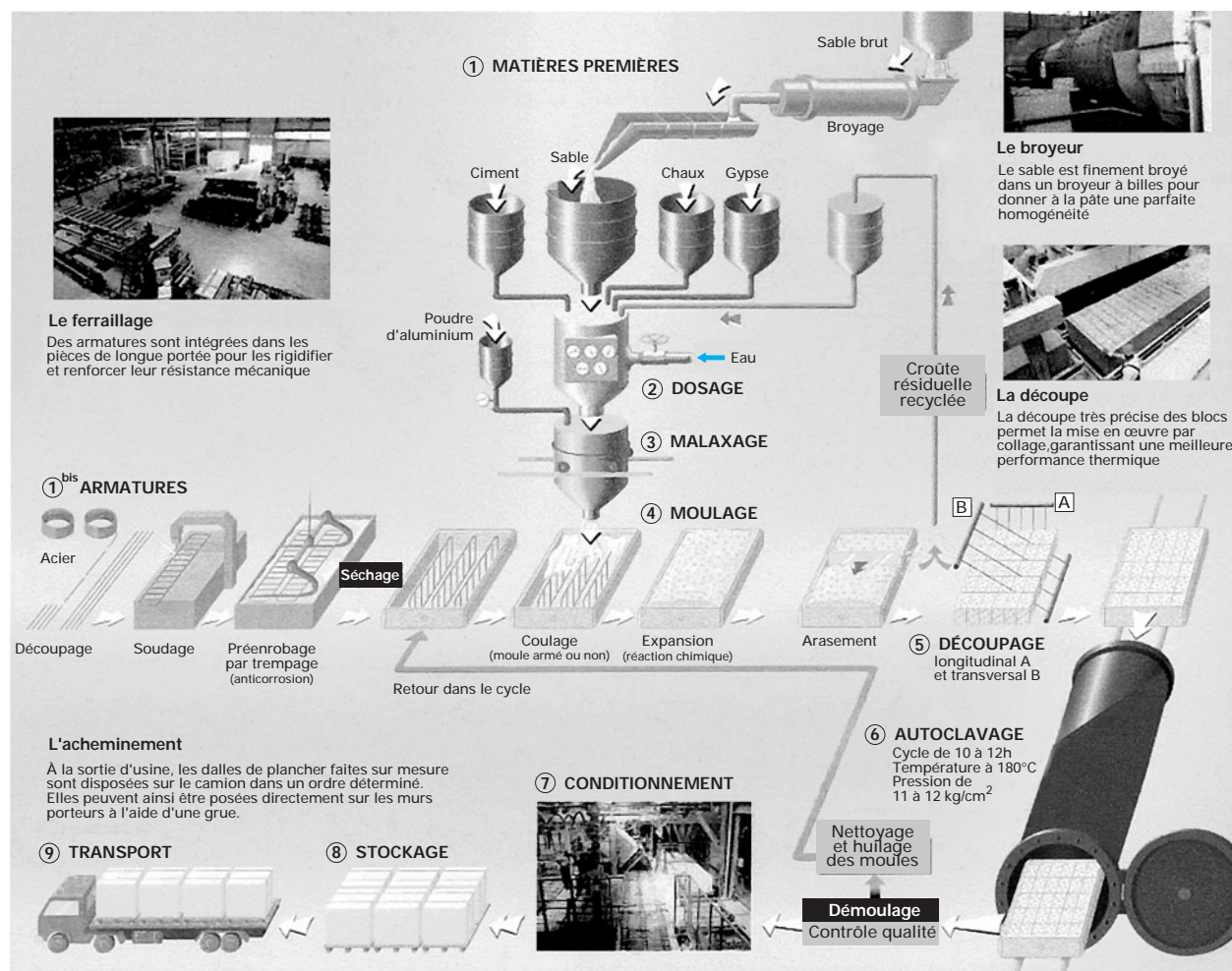


Figure 30 – Principe de fabrication du béton cellulaire

murs, des carreaux pour cloisons, des linteaux, des dalles de planchers, des éléments de bardage.

Le béton cellulaire est obtenu à partir de matières minérales (figure 30). Le mélange de sable siliceux finement broyé, de ciment, de chaux, de gypse et d'eau, forme une pâte fluide à laquelle on ajoute, quelques secondes avant la fin du malaxage, une poudre d'aluminium très fine. Aussitôt après coulage dans les moules de grande capacité (environ 7 m<sup>3</sup>), la pâte s'expande (en doublant de volume) en raison d'un dégagement interne d'hydrogène produit par la réaction de la poudre d'aluminium dans le milieu très alcalin de la pâte.

Après un prédurcissement de quelques heures (2 à 3 h à 60 °C), les grands blocs sont démoulés et découpés à l'aide de fils métalliques pour obtenir les produits crus aux dimensions définitives.

Dans le cas de produits armés (dalles de planchers, éléments de bardage, linteaux), des nappes d'armatures protégées de la corrosion par un enrobage à base de ciment sont positionnées dans les moules avant la coulée.

Après découpage et éventuellement rainurage (pour les produits à emboîtement) tous les produits sont soumis à un autoclavage qui permet d'obtenir les résistances finales et une bonne stabilité dimensionnelle (retrait-gonflement inférieur à 0,3 mm/m). Cet autoclavage est effectué à une température de 190 °C et une pression de 12 bar pendant environ 10 h.

Les usines de production d'éléments en béton cellulaire produisent des volumes importants (100 000 à 500 000 m<sup>3</sup>/an) mais nécessitent des investissements élevés.