

III. LES GRANULATS

III.1. DÉFINITION

On donnera le nom de **granulats** à un **ensemble de grains inertes** destinés à être **agglomérés** par un **liant** et à former un **agrégat**

En effet, un **agrégat** est un assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux (le mortier ou le béton par exemple).

Le terme **granulat, au singulier**, désigne un ensemble de grains d'un même type, quel que soit le critère de classification utilisé.

Le terme **granulats, au pluriel**, sera utilisé pour désigner un mélange de grains de divers types.

Les **granulats utilisés** dans les travaux de **génie civil** doivent répondre à des **impératifs de qualité et des caractéristiques propres** à chaque usage. Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, dans les cas usuels, environ **80 % du poids total du béton**.

Les granulats sont nécessaires pour la fabrication des bétons; du point de vue économique, car ils permettent de diminuer la **quantité de liant** qui est plus cher; du point de vue technique, car ils **augmentent la stabilité dimensionnelle** (retrait, ...etc) et ils sont plus résistants que **la pâte de ciment¹**.

Il faut par conséquent, **augmenter** au maximum la **quantité** de **granulats**, en respectant toutefois les **deux conditions** suivantes:

1. Les granulats doivent satisfaire à **certaines exigences de qualité**;
2. La qualité de **pâte liante** doit être suffisante pour lier **tous les grains et remplir les vides**.

Les **essais** effectués en **laboratoire** portent nécessairement sur des **quantités réduites** de matériaux, ceux-ci devant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau dans lequel on a fait le prélèvement.

Il faut que **l'échantillon** utilisé au **laboratoire** soit **représentatif** de **l'ensemble**. Cette opération est généralement difficile, prend du temps et, parfois, est coûteuse, mais elle est essentielle; souvent, les essais effectués sont sans valeur car ils ne sont pas représentatifs.

En général le **prélèvement** d'échantillons se fait en **deux temps**:

- a) **Prélèvement** sur le **chantier**, la **carrière** ou **l'usine** d'une quantité de **matériaux** nettement plus **grande** que celle qui sera utilisée pour **l'essai**.
- b) Au laboratoire, prélèvement de la quantité **nécessaire à l'essai** et qui soit également représentative de l'échantillon de départ.

III.1.1. Prélèvement sur tas normaux

- a) à la **main**, à l'aide d'une **planche** ou d'une **plaque métallique**.
- b) à la **main**, sur tas d'éléments **grossiers** (gravier concassé) par **ratissage** dans un **réceptif**.
- c) au moyen d'une **sonde**, ouverture 4 ~ 6 cm, longueur 60 ~ 100 cm, extrémité taillée en sifflet.

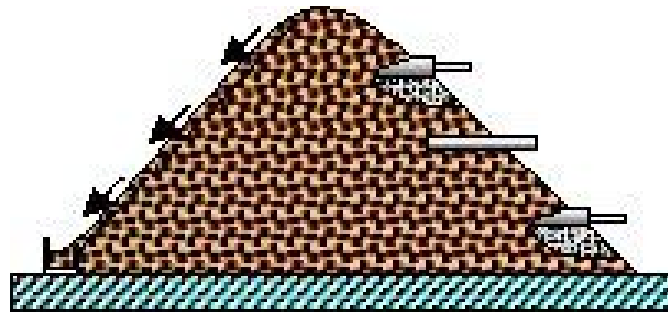


Fig. 3.1: le matériau en stock

III.1.2. Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire)

Le passage de l'échantillon **total** prélevé sur le tas à l'échantillon **réduit**, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un **échantillonneur**. L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105 °C s'il est exempt de minéraux argileux, ce qui est rare, ou à 60 °C dans le cas contraire.

III.1.2.1. Quartage

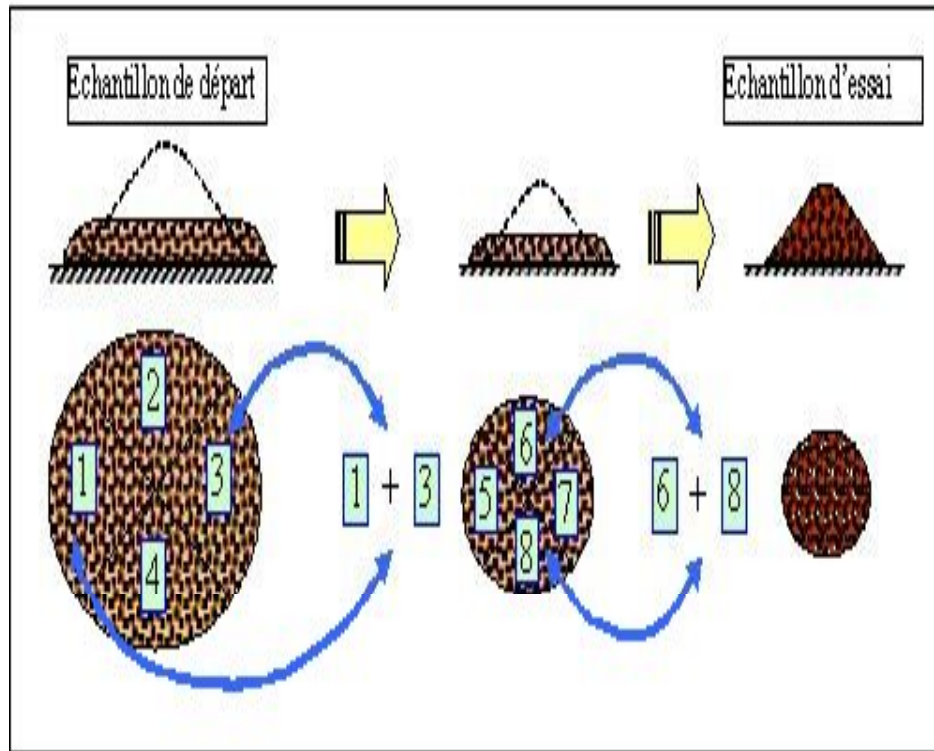


Fig. 3.2: Opération de quartage

Le **procédé** peut être résumé par la (fig. 3.4) ci-dessous. Celle-ci permet de sélectionner une masse (m) à partir d'un prélèvement de masse 3m.

III.1.2.2. Echantillonneur

Cet appareil de laboratoire fig 3.3, permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.

La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques.



Fig. 3.3: Echantillonneur pour gravier

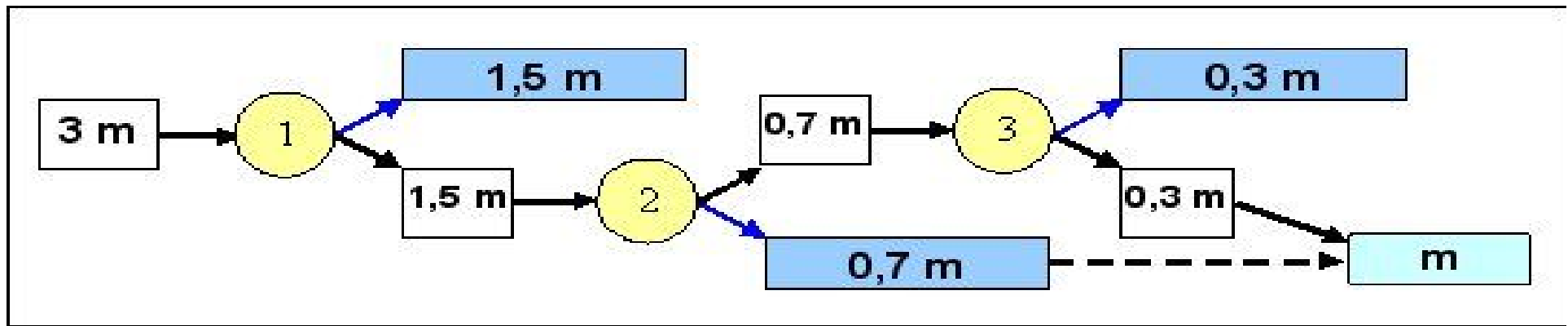


Fig. 3.4: Schéma d'une opération de répartition des matériaux en utilisant de l'échantillonneur

III.2. COURBES GRANULOMÉTRIQUES

III.2.1. Importance de la composition granulométrique

Les propriétés **physiques** et **mécaniques** du béton dépendent de beaucoup de **facteurs**. Généralement on souhaite obtenir un béton **résistant**, **étanche** et **durable**. Pour atteindre ce but, il faut:

1. Que le béton à l'état frais soit **facile à mettre en oeuvre et à compacter** (pour réduire la porosité).
2. Un **maximum de granulats** par unité de volume de béton (pour réduire la **quantité de pâte liante** nécessaire pour remplir les vides, tous les vides devant être remplis de pâte liante).
3. Un **minimum de surface spécifique** (pour réduire la quantité d'eau de gâchage et obtenir un rapport C/E plus élevé).

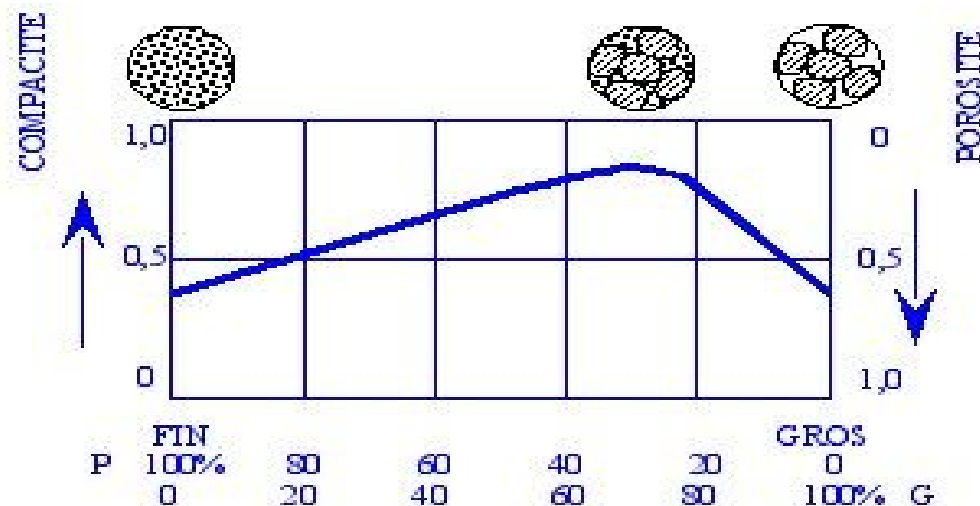
Par ailleurs:

1. Il faut choisir **Dmax** aussi grand que le permet la dimension minimum de la pièce à bétonner et l'encombrement des granulats.
2. La **proportion** de chaque **dimension des grains** doit être choisie de façon à remplir les vides laissés par les grains de dimensions supérieures.
3. Il faut réduire la **teneur en éléments fins** au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et une bonne compacité.

Les **courbes granulométriques** apporteront quelques éléments de réponses à ces conditions.

La **condition essentielle** pour obtenir le **moins de vides** possibles (meilleure compacité) dans un mélange de sable et gravillon est de: **35 % de sable de 0/5 et 65 % de gravillons 5/20**.

*Fig. 3.5:
Compacité d'un
mélange de grains
fins et de grains
grossiers*

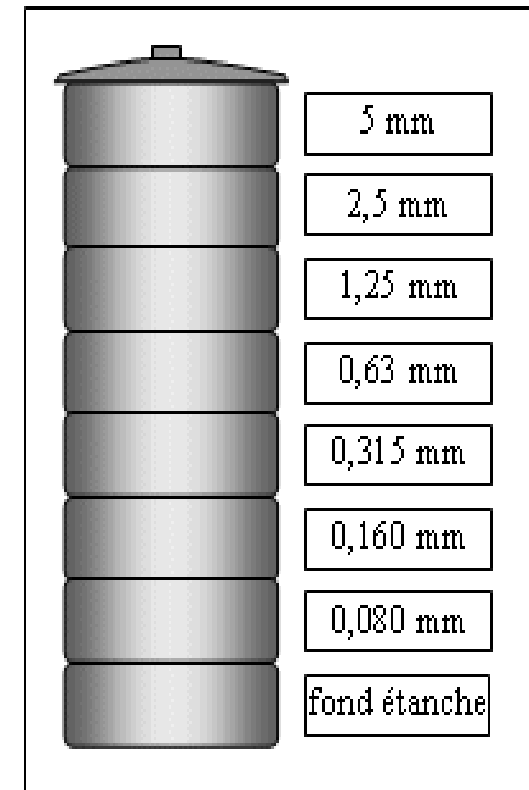


Les courbes **granulométriques** des **différents granulats** peuvent être déterminées par **l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560)**.

L'essai **consiste à classer** les différents **grains** constituant l'échantillon en utilisant une **série de tamis**, emboîtés les uns sur les autres, dont les **dimensions des ouvertures** sont **décroissantes** du **haut vers le bas**. Le matériau étudié est **placé en partie supérieure** des tamis et le classement des grains s'obtient par **vibration de la colonne de tamis**.

On considère que le **tamisage est terminé** lorsque le **refus** ne varie pas de plus de **1 % entre deux séquences** de vibration de la tamiseuse. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. Par exemple pour le tracé de la courbe granulométrique d'un sable 0/5, on pèse une certaine quantité (après séchage) soit 2 kg par exemple.

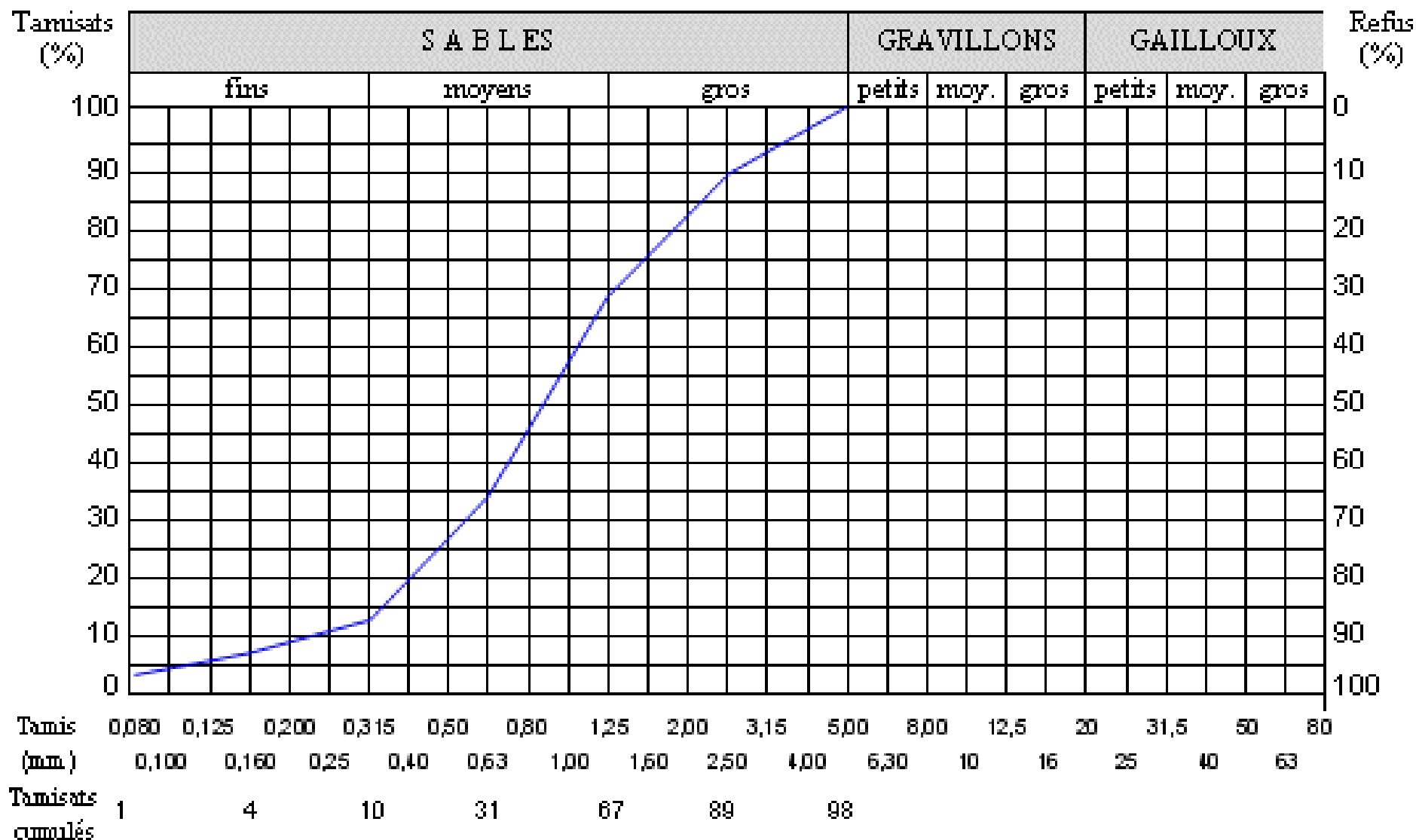
Le poids des tamisats successifs permet de déterminer les pourcentages du tamisats (tableau suivant) correspondant à chacun des tamis utilisés.



Tamais en (mm)	Refus cumulés R_n en (g)	Refus cumulés En (%)	Tamisats cumulés en (%)
5	39	1,95	98,05
2,5	215	10,75	89,25
1,25	650	32,50	67,50
0,63	1380	69	31,00
0,315	1800	90	10,00
0,160	1910	95,50	4,50
0,080	1980	99,25	0,75
fillers	1999	100,00	0,00

La courbe correspondant à ce sable normal, est présentée sur la fig. suivante.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



Courbe granulométrique d'un sable

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

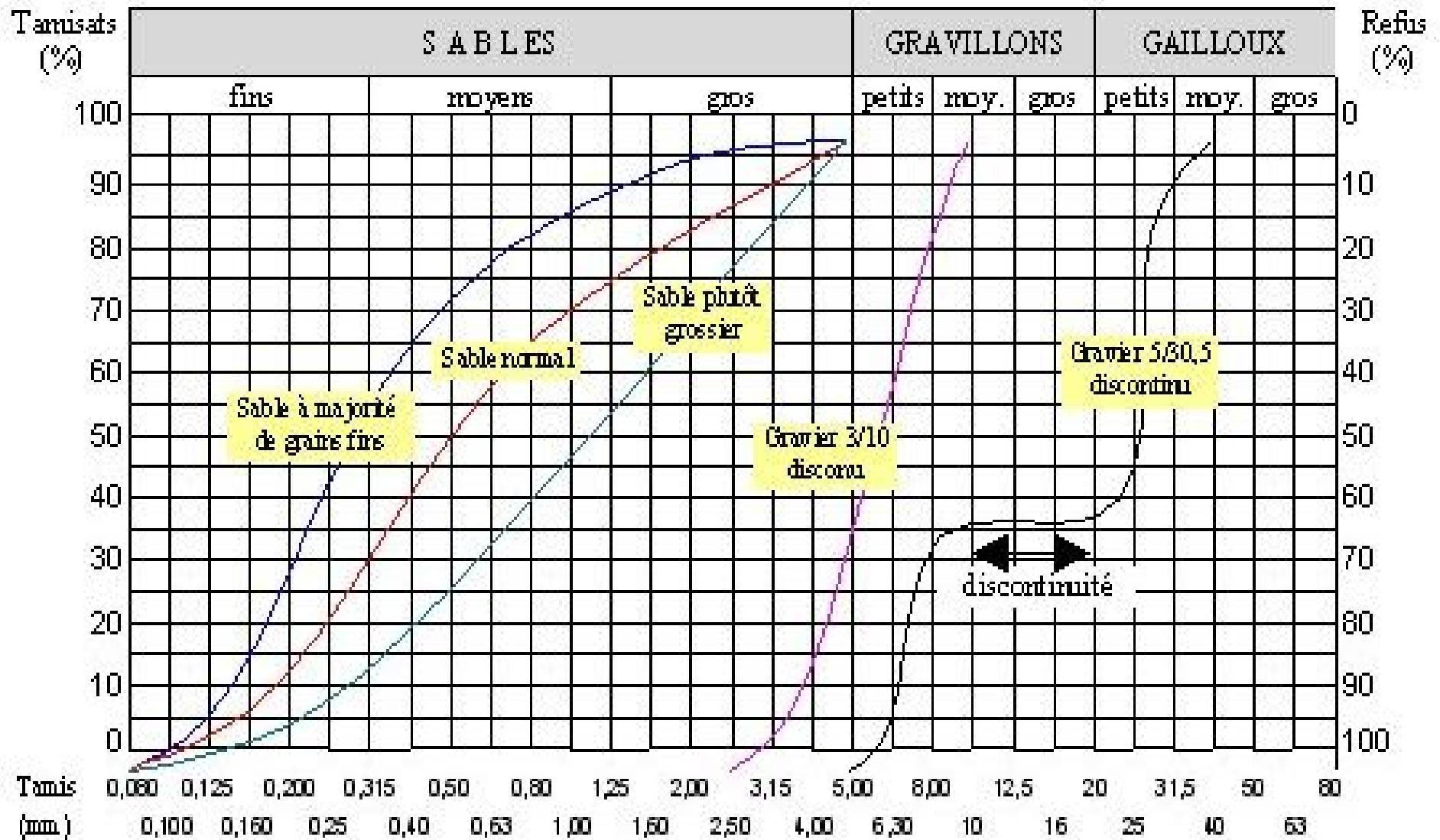


Fig. 3.6. Courbes granulométriques dans différents cas

La forme des courbes granulométriques apporte les renseignements suivants:

1. Les limites d et D du granulat en question;
2. La plus ou moins grande proportion d'éléments fins; par exemple la courbe située au-dessus de celle du sable normal correspond à un sable à majorité de grains fins et c'est l'inverse pour celle située en dessous. En effet, ces trois sables sont des sables 0/5 mm mais les proportions de grains fins ($<0,5$ mm par exemple) sont pour chacun d'eux: 25%, 45% et 60%;
3. La continuité ou la discontinuité de la granularité; par exemple, les courbes de sables sont continues mais la courbe du gravier 5/31,5 présente une discontinuité; en effet le palier s'étendant de 10 à 20 mm signifie que le granulat en question ne contient pas de grains compris entre 10 et 20 mm.

III.3. CLASSIFICATION DES GRANULATS

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D .

Un **granulat** est caractérisé du point de vue **granulaire** par sa **classe d/D**. Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné 0/D.

Il existe **cinq classes granulaires** principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101):

1. Les fines 0/D avec $D \leq 0,08$ mm,
2. Les sables 0/D avec $D \leq 6,3$ mm,
3. Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
4. Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
5. Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

Il peut être utile dans certains cas d'écrire la classification suivante:

Tableau 3.3: *Classes granulaires des granulats*

APPELLATION		Dimension de la maille des tamis en (mm)
Pierres cassées et cailloux	Gros	50 à 80
	Moyens	31,5 à 50
	Petits	20 à 31,5
Gravillons	Gros	12,5 à 20
	Moyens	8 à 12,5
	Petits	5 à 8
Sable	Gros	1,25 à 5
	Moyens	0,31 à 1,25
	Petits	0,08 à 0,31
Fines, farines et fillers		inférieur à 0,08

III.4. DIFFÉRENTS TYPES DE GRANULATS

Les **granulats** utilisés pour le béton sont soit d'origine **naturelle**, soit **artificiels**.

III.4.1. Les granulats naturels

III.4.1.1. Origine minéralogique

Parmi les granulats **naturels**, les plus utilisés pour le béton proviennent de **roches sédimentaires** siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

III.4.1.2. Granulats roulés et granulats de carrières

1. Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et cribléton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, **calcaires ou silico-calcaires**.

2. Les **granulats de carrière** sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donnent des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon

III.4.2. Les granulats artificiels

III.4.2.1. Sous-produits industriels, concassés ou non

Les plus employés sont le **laitier cristallisé** concassé et le **laitier granulé** de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m³ pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m³ pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.

III.4.2.2. Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (**granulats ferreux...**) ou granulats **réfractaires**.

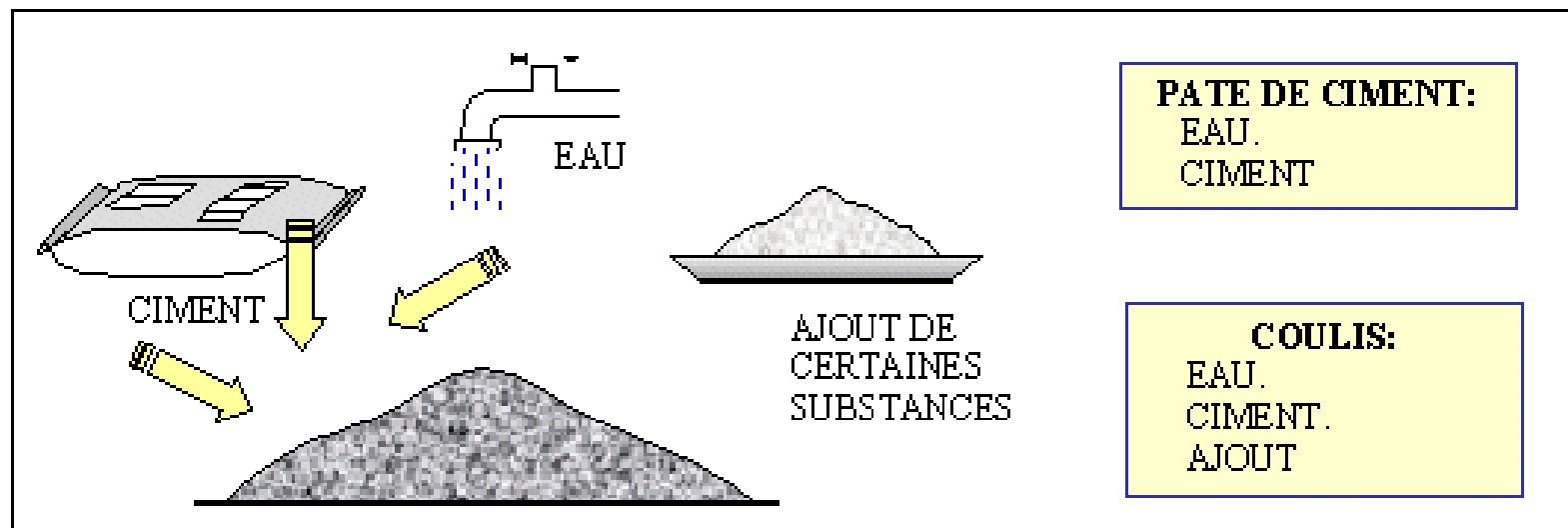
III.4.2.3. Les granulats très légers

Ils sont d'origine aussi bien **végétale et organique** que minérale (**bois, polystyrène**). Très légers - 20 à 100 kg/m³ - ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers: blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

IV. LA PÂTE DE CIMENT

IV.1. INTRODUCTION

La **pâte de ciment** est composée principalement de **ciment** (C) et d'**eau** (E). Soit E et C les concentrations (en masse) d'eau et de ciment pour un volume unité de pâte. Dès que l'on **mélange** le ciment avec l'eau, l'**hydratation** va commencer et les propriétés de la pâte sont **évolutives dans le temps**. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée, la pâte reste plus ou moins **malléable**, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais après un certain temps les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange se **raidit**, on dit qu'il fait prise, et le matériau commence alors à s'apparenter plus à un **solide** qu'à un fluide.



Les constituants des pâtes et des coulis de ciment

IV.2. Caractéristiques de la pâte de ciment

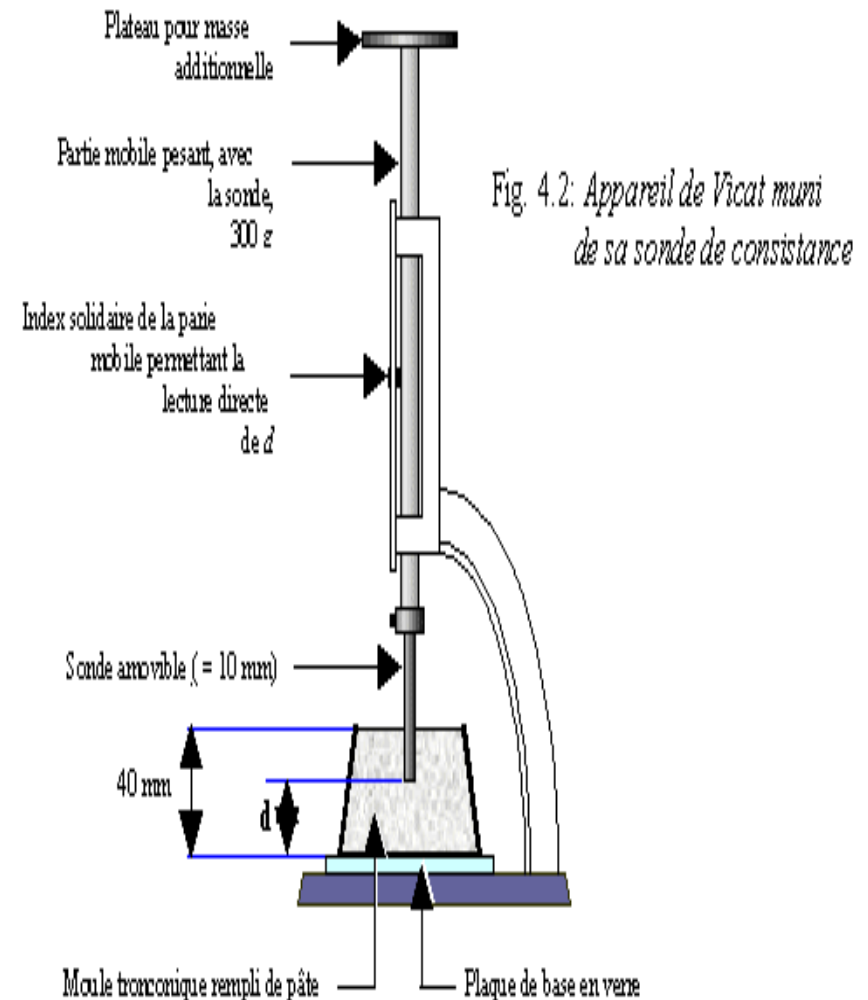
IV.4.1. La consistance

La **consistance** de la pâte de ciment est sa plus ou moins **grande fluidité**. C'est une caractéristique qui évolue au cours du temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres, il faut pouvoir partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées. La consistance dite "consistance normalisée" peut être déterminée par l'essai en utilisant un appareil qui s'appelle "**Vicat**" (fig 4.2)

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée.

- Si (d) = $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée).

- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.a.d. $d > 7\text{ mm}$ ou $d < 5\text{mm}$), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.



IV.4.2. Caractéristiques de fluidité (Norme NF P 18-358)

En général, les pâtes de ciment entrant dans la composition des mortiers ou des bétons ont des consistances beaucoup plus fluides et donc des dosages en eau plus importants.

IV.4.3. Caractéristiques de stabilité (Norme NF P 18-359)

L'essai consiste à mesurer la quantité d'eau qui **ressue à la surface** du coulis hydraulique laissé au repos et à l'abri de toute évaporation. Les directives actuelles précisent que, dans ces conditions, la quantité d'eau exsudée à la surface du coulis, maintenue au repos pendant trois heures, ne devra pas être supérieure à 2 % du volume de coulis. Cette eau devra, de plus, être complètement réabsorbée 24 h après.

IV.4.4. La réduction d'eau

IV.4.5. Les résistances mécaniques (Norme NF P 18-360):

IV.4.6. Le temps de prise (Norme NF P 18-362):

IV.4.7. Le retrait (Norme NF P 15- 361):

V. LES MORTIERS

Dans toute **construction**, il est indispensable de **réunir** entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un **mortier** de ciment ou d'autre **liant** qui a pour but de:

1. **Solidariser** les éléments entre eux;
2. Assurer la **stabilité** de l'ouvrage;
3. **Combl**er les interstices entre les blocs de construction.

Le **mortier** est obtenu par le **mélange** d'un **liant** (chaux ou ciment), de **sable**, **d'eau** et éventuellement **d'additions**. Des compositions **multiples** de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: **liant** (type et dosage), **adjuvants** et **ajouts**, **dosage** en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. La **durée** de **malaxage** doit être optimum, afin d'obtenir un mélange **homogène et régulier**.

Les mortiers peuvent être:

1. **Préparés sur le chantier** en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
2. Préparés sur le chantier à partir de **mortiers industriels secs prédosés** et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
2. **Livrés par une centrale**: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

V.2. COMPOSITION

Ils peuvent être très **différents** les uns des autres selon la **nature** et les **pourcentages** des constituants, le **malaxage**, la **mise en oeuvre** et la **cure**.

Les **mortiers** sont **constitués** par des mélanges de: **liant** (ciment ou chaux); **d'eau**; du **sable** et **d'adjuvants**

V.2.1. Les liants: Généralement, on peut utiliser: les **ciments normalisés** (gris ou blanc); les **ciments spéciaux** (alumineux fondu, prompt, ..); les **liants à maçonner**; les **chaux hydrauliques** naturelles et les **chaux éteintes**

V.2.2. Les sables: Normalement, les **sables** utilisés sont les sables appelés “**sable normalisé**”. Les sables de **bonne granulométrie** doivent contenir des **grains fins, moyens et gros**. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. ***Ils peuvent être:***

- 1. **Naturels** et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- 2. **Naturels concassés** (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.

3. **Spéciaux** (lourds, réfractaires, légers): sable de laitier; sable d'oxydes de fer, de chromite; corindon; sable de briques concassées; liège torréfié; polystyrène expansé; vermiculite, ou de perlite.

Certains sables sont à **éviter**, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les **sables crus** qui manquent de fines et les sables de **dunes** ou de **mer** qui contiennent des **sels néfastes** pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être **propres**.

Le **diamètre maximum** des grains de sable utilisés pour les mortiers est: **extra-fins**: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire); **fins**: jusqu'à 1,6 mm; **moyens**: jusqu'à 3,15 mm; et **gros**: jusqu'à 5 mm.

V.2.3. Les adjuvants: Les **adjuvants** sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des **bétons**. Ils **modifient les propriétés** des bétons et des **mortiers** auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter *différents types d'adjuvants tel que*: Les **plastifiants** (réducteurs d'eau); les **entraîneurs** d'air; les **modificateurs** de prise (retardateurs, accélérateurs) et les **hydrofuges**.

V.2.4. Les ajouts: Les **ajouts** que l'on utilise dans les mortiers sont: **poudres fines pouzzolaniques** (cendres, fumée de silice..); **fibres** de différentes natures; colorants (naturels ou synthétiques) ou **polymères**.

V.3. LES DIFFÉRENTS MORTIERS

- 1. Les mortiers de ciment:** Les **mortiers de ciments** sont très **résistants, prennent et durcissent rapidement**. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de **1:3** et le rapport de l'eau sur ciment est environ **0,35**. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.
- 2. Les mortiers de chaux:** Les **mortiers de chaux** sont **moins résistants** par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.
- 3. Les mortiers bâtards:** Ce sont les mortiers, dont le **liant** est le mélange de **ciment et de chaux**. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

V.3.1. Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le **ciment et le sable** du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des **chaux hydrauliques** et parfois des **liants à maçonner**.

V.3.2 Mortier industriel

Ce sont des **mortiers** que l'on fabrique à partir de **constituants secs**, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en oeuvre.

Les mortiers peuvent contenir des **liants** et des **sables** variés ainsi que certains **adjuvants** et éventuellement des colorants.

Les fabricants de mortiers industriels proposent une **gamme complète** de produits répondant à tous les besoins:

Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié, **mortiers** d'imperméabilisation, **mortier** d'isolation thermique, **mortier** de jointoiement, **mortier** de ragréage, **mortier** de scellement, **mortier** pour chapes, **mortier-colle** pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc., **mortier** de réparation.

V.4 Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales des mortiers sont:

1. **Ouvrabilité**;
2. **Prise**;
3. **Résistances** mécaniques;
4. **Retraits et gonflements**, etc.

V.4.1 Ouvrabilité

a) **La table à secousses**: le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i} \quad \text{avec } D_r = \text{diamètre final et } D_i = \text{diamètre initial.}$$

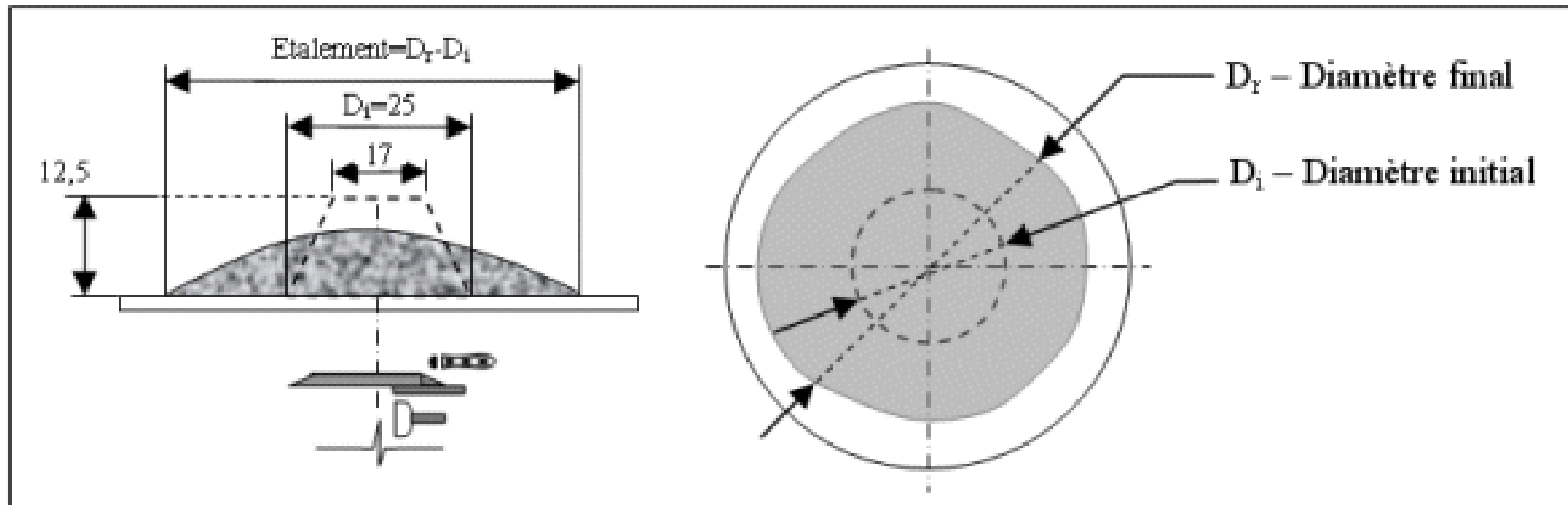
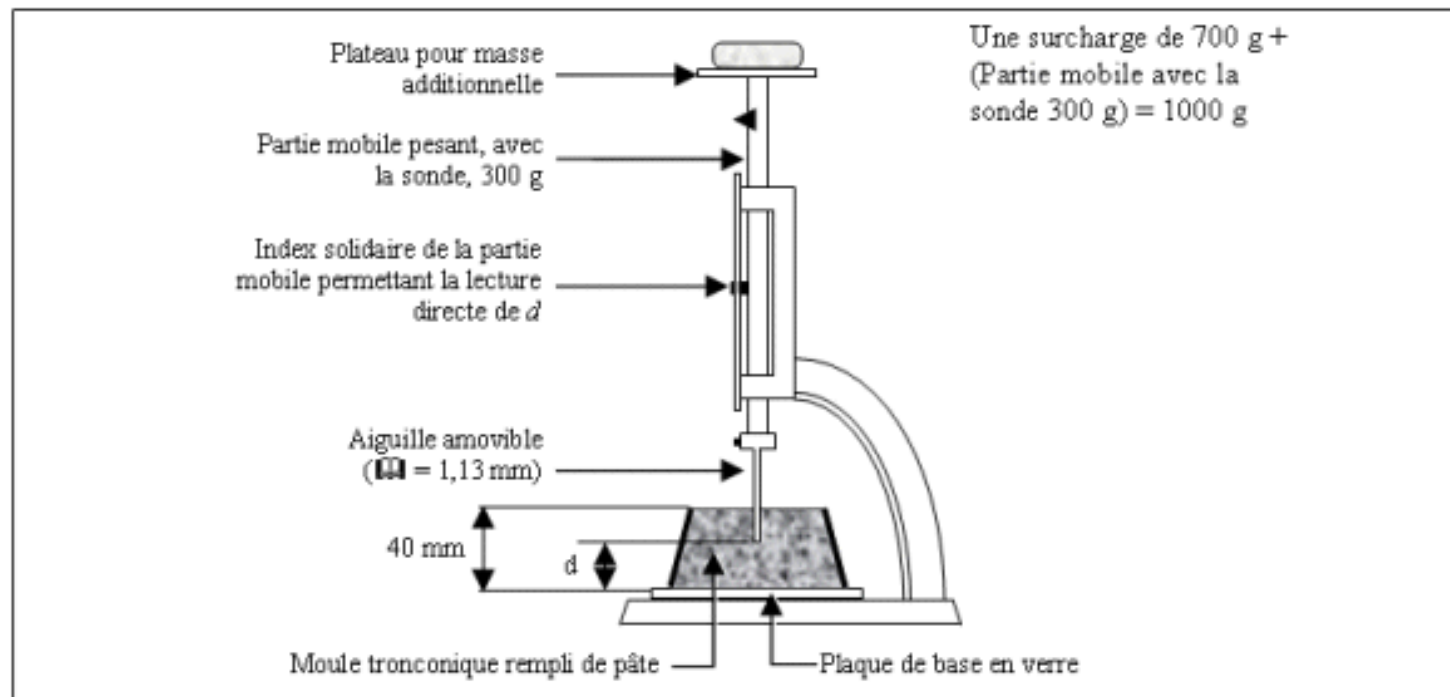


Table à secousses

V.4.2 Prise

Le **temps de prise** se mesure habituellement sur une **pâte pure** de ciment de **consistance normale** (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat).

Il est possible d'obtenir (**hors norme**) le **temps de prise** d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de **700** grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le **début de prise** est l'instant où l'aiguille **s'arrête à 2,5 mm du fond** (taille des plus gros grains de sable) et **la fin de prise** est l'instant où l'aiguille **s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur**.

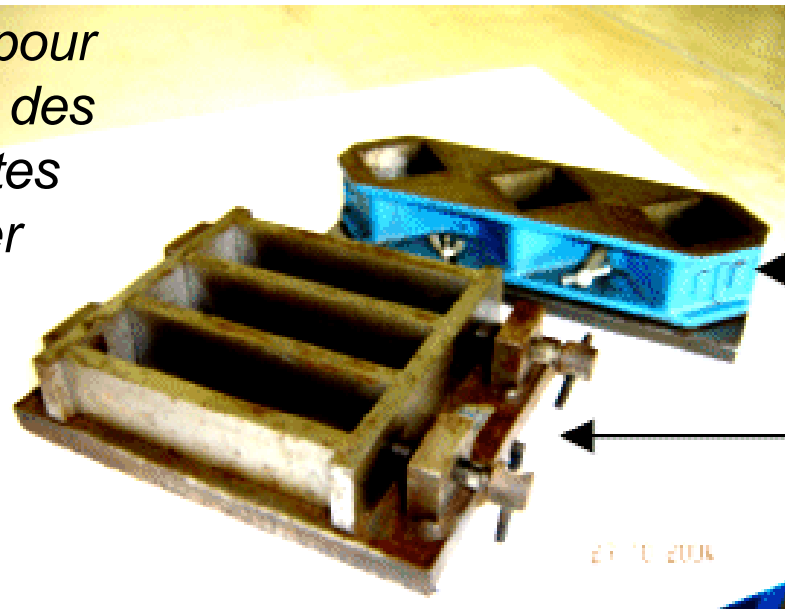


Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge

V.4.3 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les **éprouvettes prismatiques** de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.

Moule pour moulage des éprouvettes de mortier

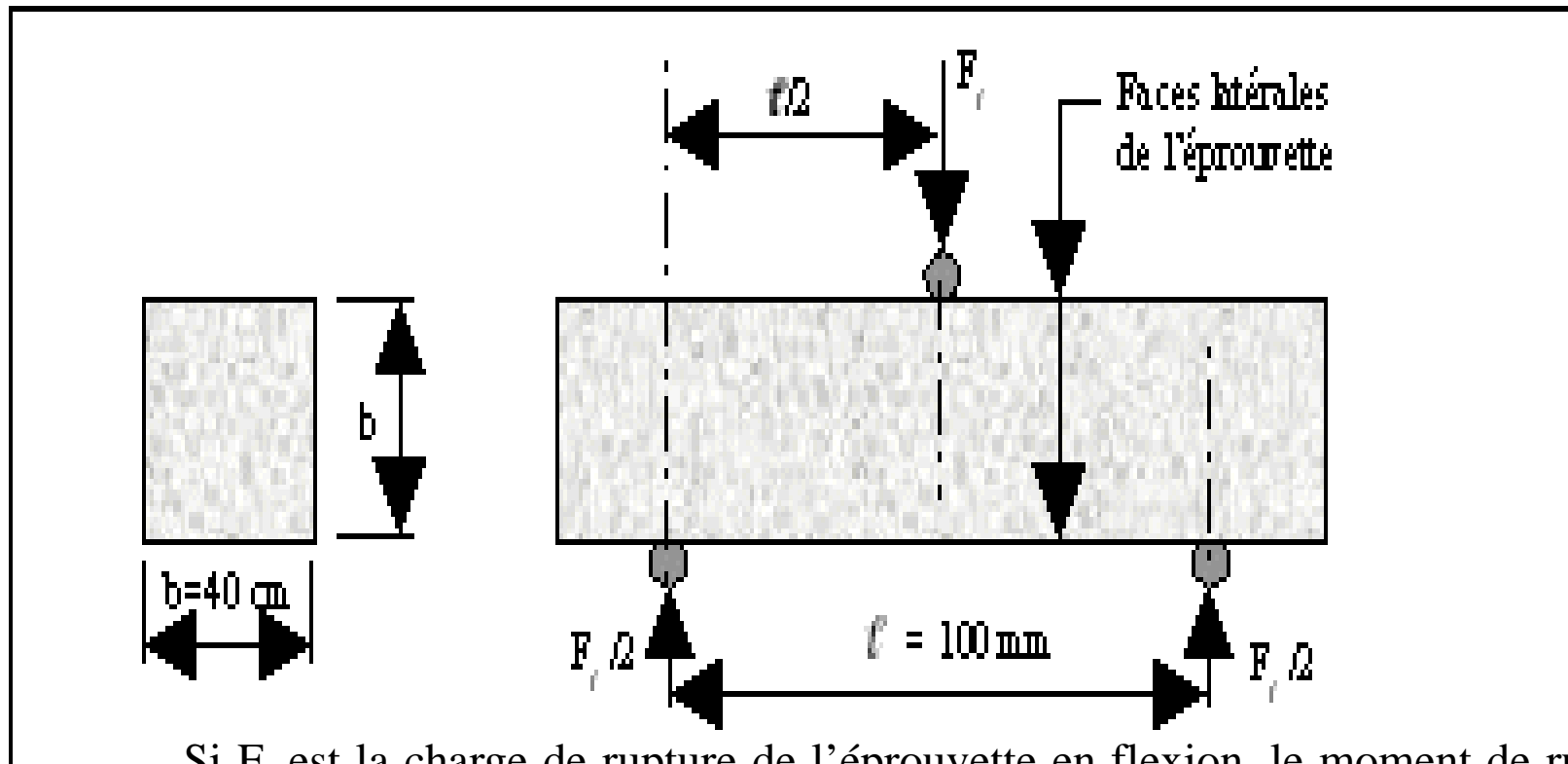


Moule cubique

Moule prismatique

Les éprouvettes sont **rompues** en traction par **flexion** puis en **compression**. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

La **rupture** de chaque éprouvette en **flexion** est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure.



Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

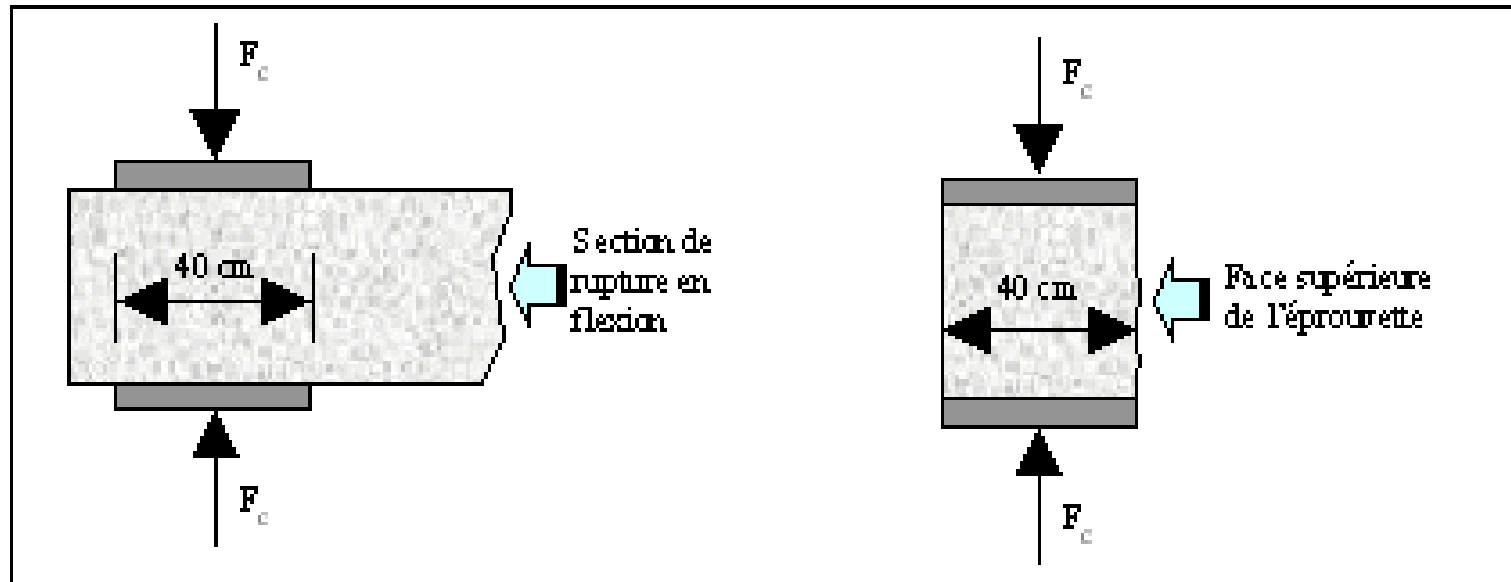
Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{b^3}$$

Cette contrainte est appelé la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l , Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$R_f \text{ (MPa)} = 0,234 F_f \text{ (N)}.$$

Les **demis-prismes** de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront **rompus en compression** comme indiqué sur la figure.



*Dispositif
de rupture
en
compression*

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra : $R_c = \frac{F_c}{b^2}$

Cette contrainte est appelée **résistance à la compression** et, si F_c est exprimée en newton, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

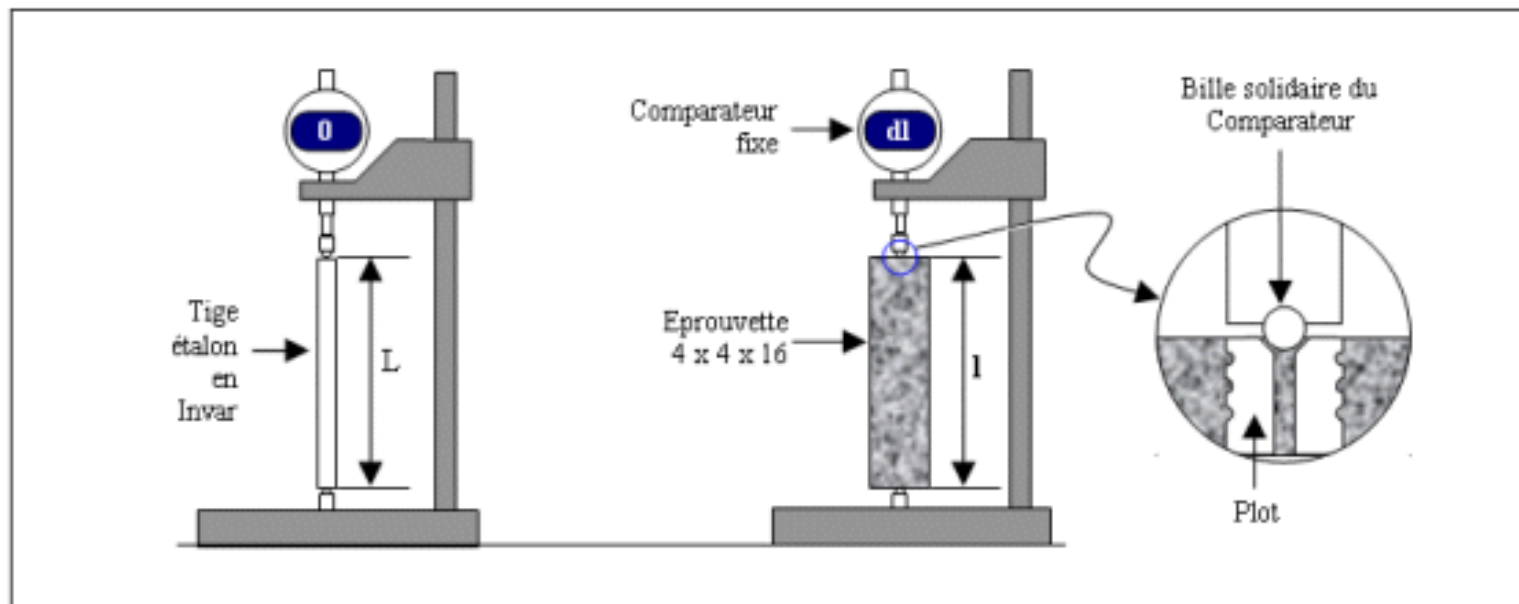
$$R_c(\text{MPa}) = \frac{F_c(\text{N})}{1600}$$

Les **résistances** des **mortiers** (comme dans le cas des **bétons**) dépendent de très **nombreux facteurs**: **nature et dosage** en ciment; **rapport C/E**; **granulométrie** et **nature** du sable; **énergie** de malaxage et mise en oeuvre, et **protection** les tous premiers jours.

V.4.4 Retraits et gonflements

Les **retraits** se mesurent sur des **prismes 4 x 4 x 16 cm** en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à **20 °C et à 50 % d'humidité relative**. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

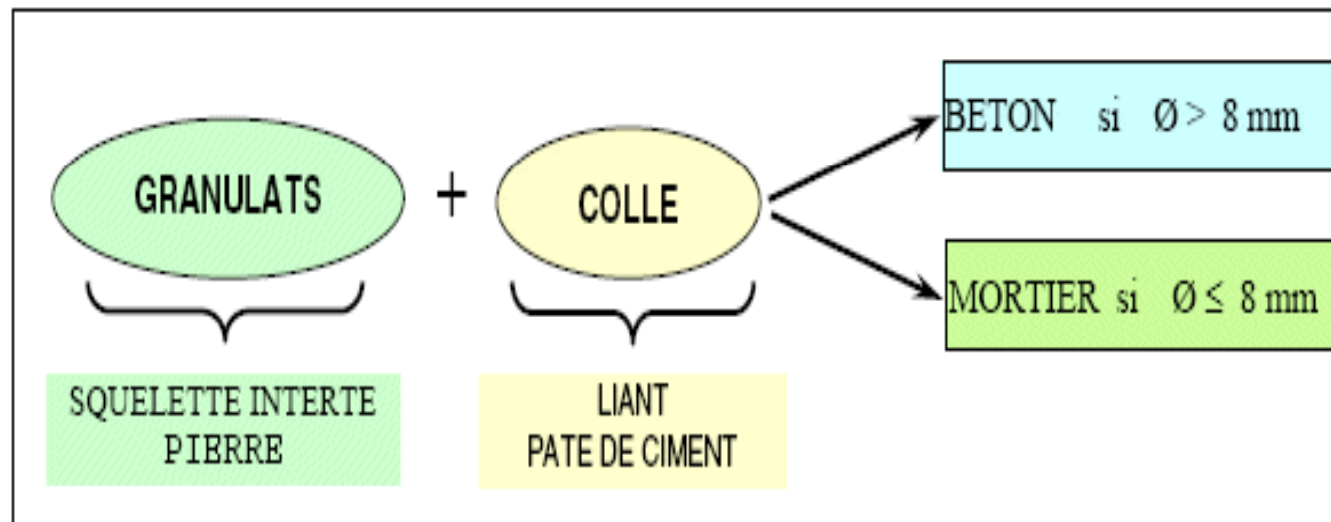
Le **gonflement** des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Châtelier inférieure sur pâte pure à 10 mm)



Appareillage pour la mesure du retrait

VI. LE BÉTON

Le **béton** est un matériau composite aggloméré constitué de **granulats** durs de diverses dimensions collées entre eux par un **liant**. Dans les bétons courants, les **granulats** sont des **grains de pierre, sable, gravier, cailloux** et le **liant** est un **ciment**, généralement un **ciment portland**. Les composants sont très différents: leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé **n'est pas un ciment**, on parle alors, selon le liant utilisé, de **béton de résine**, de **béton d'hydrocarboné**, de **béton d'argile**, etc.

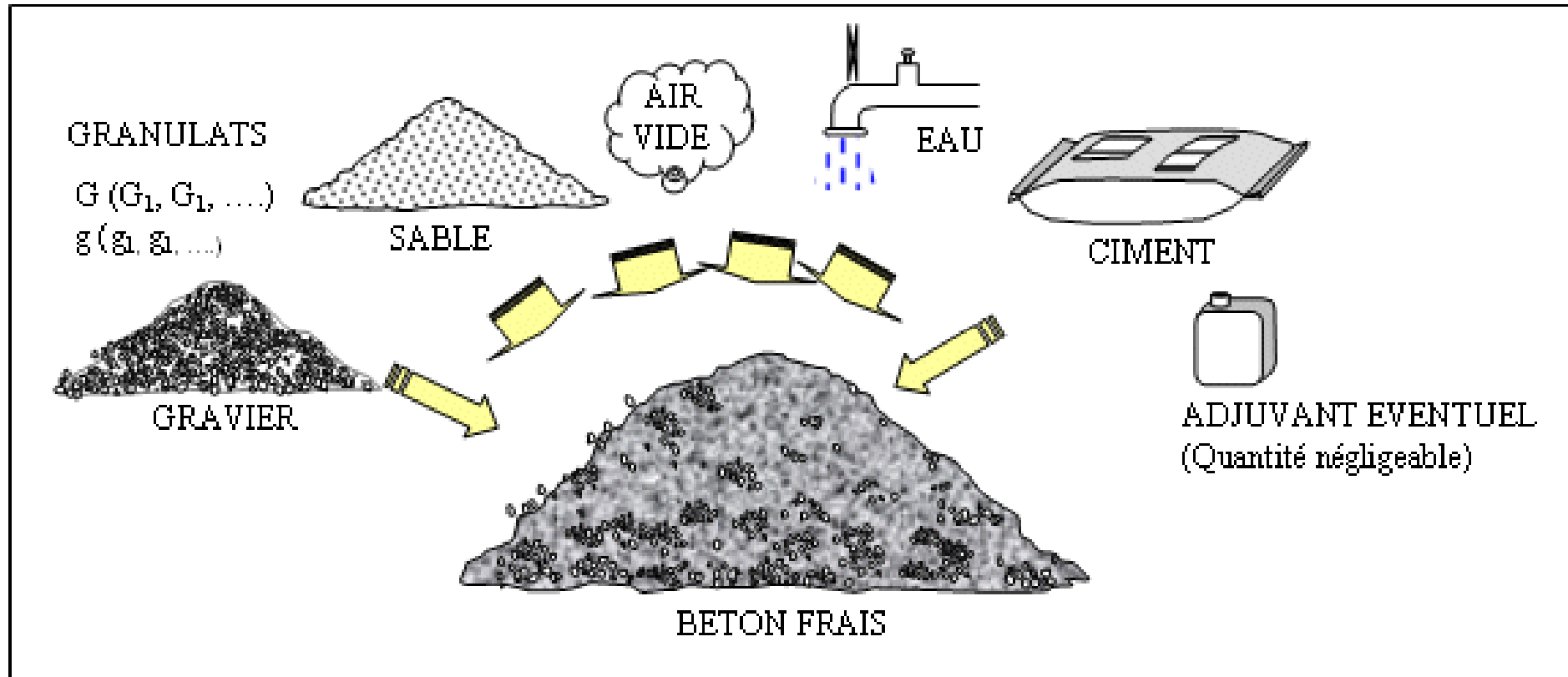


La différence entre le béton et le mortier.

Les différents **granulats** forment le **squelette granulaire** du mortier ou du béton. Le **ciment, l'eau et les adjuvants** forment la **pâte liante**. Lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de "**pâte de ciment**". La pâte est un élément unique et actif du béton enrobant les granulats. **L'objectif** est de remplir les **vides existants** entre les grains. La pâte joue le rôle de **lubrifiant et de colle**.

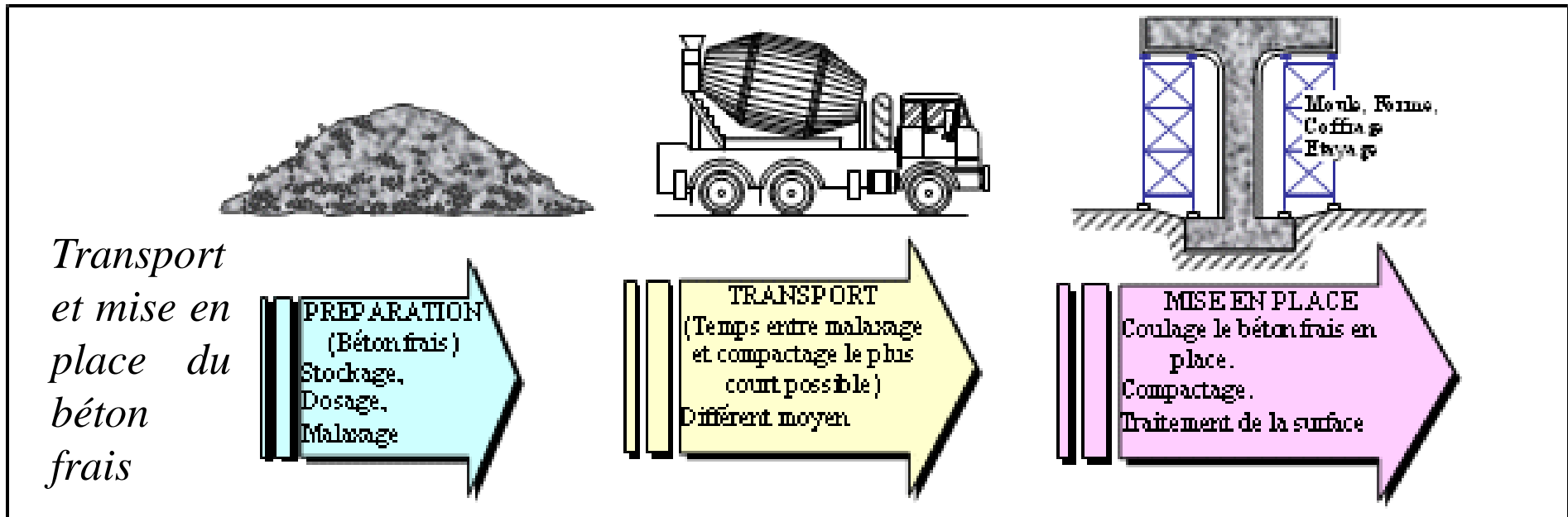
VI.1. LES DIVERS STADES DE FABRICATION ET DE VIE DU BÉTON

VI.1.1. Constituants d'un béton

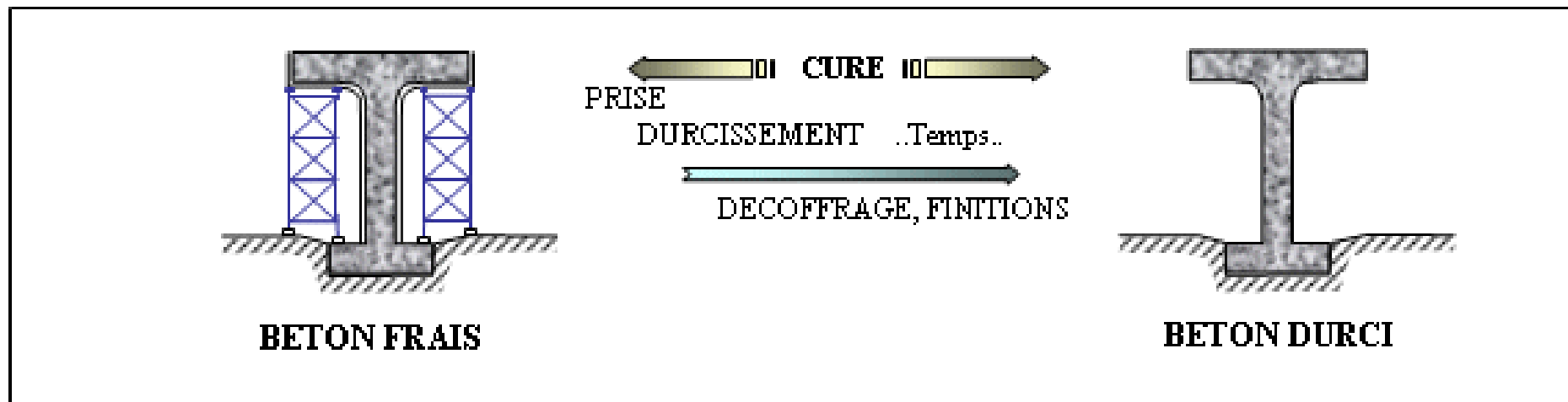


Les constituants du béton (Fabrication du béton frais)

VI.1.2. Mise en oeuvre

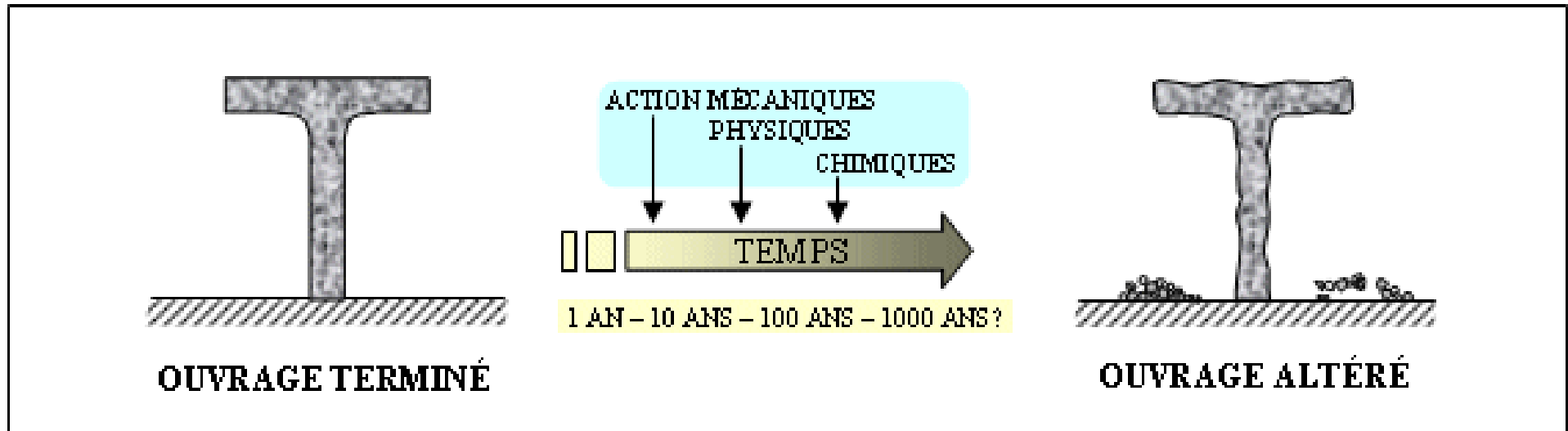


VI.1.3. Durcissement



Durcissement finition

VI.1.4. Vieillesissement



Détermination, exploitation et destruction

VI.2. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU BÉTON

➤ Avantages du béton:

1. Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien.
2. Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer.
3. Il devient solide comme de la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.
4. Il exige peu d'énergie pour sa fabrication.

•5. Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint).

6. Il convient aux constructions monolithiques. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas de béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité.

7. Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées.

➤ Inconvénients du béton:

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des **armatures en acier**. De toutes façons, il reste les quelques inconvénients suivants:

1. **Poids** propre élevé

2. Faible **isolation** thermique

•3. Le **coût élevé** entraîné par la **destruction** du béton en cas de **modification** d'un ouvrage.

VI.3. CLASSIFICATION DU BÉTON

Le **béton** fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de **résistance**, ses propriétés en **matière thermique**, sa **résistance au feu**, son **isolation phonique**, son **aptitude au vieillissement**, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les **formes**, les **couleurs** et les **aspects**. Le béton utilisé dans le **bâtiment**, ainsi que dans les **travaux publics** comprend plusieurs **catégories**.

En général le **béton** peut être classer en **4 groupes**, selon la **masse volumique**:

1. Béton **très lourd**: > 2500 kg/m³.
2. Béton **lourd** (béton courant): 1800 - 2500 kg/m³.
3. Béton **léger**: 500 - 1800 kg/m³.
4. Béton **très léger**: < 500 kg/m³.

Le **béton** courant peut aussi être classer en fonction de la **nature des liants**:

1. Béton de **ciment** (le ciment),
2. Béton **silicate** (la chaux),
2. Béton de **gypse** (le gypse) et
3. Béton **asphalte**.

Le **béton** peut varier en fonction de la **nature des granulats**, des **adjuvants**, des **colorants**, des **traitements de surface** et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- a) **Les bétons courants** sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une **masse volumique de 2003 kg/m³** environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- b) **Les bétons lourds**, dont les masses volumiques peuvent atteindre **6000 kg/m³** servent, entre autres, pour la protection contre les **rayons radioactifs**.
- c) **Les bétons de granulats légers**, dont la **résistance** peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes ou les ponts.
- d) **Les bétons cellulaires** (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de **500 kg/m³**. Ils sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes **d'isolation**.
- e) **Les bétons de fibres**, plus récents, correspondent à des usages très variés: **dallages**, éléments **décoratifs**.

VI.4. Sélection les éléments pour béton

Le **béton** est composé de **granulats**, de **ciment**, d'**eau** et éventuellement d'**adjuvants**. Parmi les quatre constituants, les **granulats** jouent un rôle important, d'une part car ils **forment le squelette** et présentent, dans les cas usuels, environ **80 % du poids total du béton** et d'autre part car au point de vue **économique**, ils permettent de diminuer la **quantité de liant** qui est le plus cher. En plus, du point de vue **technique**, ils augmentent la **stabilité dimensionnelle** (retrait) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

VI.4.1. Qualités exigées des granulats

Les granulats utilisés pour la fabrication des bétons doivent:

a) être stables et durables et donc résister:

- à des cycles de mouillage et séchage
- à des cycles de gel et dégel
- à des variations de température
- à l'abrasion et à l'usure
- aux actions chimiques

**stabilité
du béton**

b) posséder une certaine résistance et dureté:

De nombreux essais effectués par Ferret ont montré que si les granulats ont une résistance supérieure à celle de la pâte liante, la résistance du béton n'est que peu influencée par la résistance des granulats seuls, pour autant que l'adhérence de la pâte aux grains soit satisfaisante.

**résistance
du béton**

c) être propre:

- exempts d'éléments argileux
- à des cycles de gel et dégel

**adhérence granulats -
pâte liante**

d) donner un mélange compact, ce qui nécessite:

- des grains de forme correcte
- une bonne composition granulométrique
- une teneur en éléments fins limitée

**réduction du
volume de
pâte liante**

VI.5 Étude de la composition du béton

Dans la **composition** d'un béton, les deux relations importantes suivantes interviennent:

- 1. La somme des poids des constituants de 1 m³ de béton fini est égal au poids de 1 m³ de béton fini. Si le ciment (C), l'eau (E) et les granulats (G_i) sont les poids des constituants en kg par m³ de béton fini et Δ la densité du béton en place, on a :

$$C + E + (\Sigma G_i) = 1000$$

- 2. Le volume occupé par les constituants de 1 m³ de béton est égal à 1 m³. Si (C), (E) et (G_i) sont les volumes absolus des constituants en litres par m³ de béton fini, on a :

$$C + E + (\Sigma G_i) + V = 1000$$

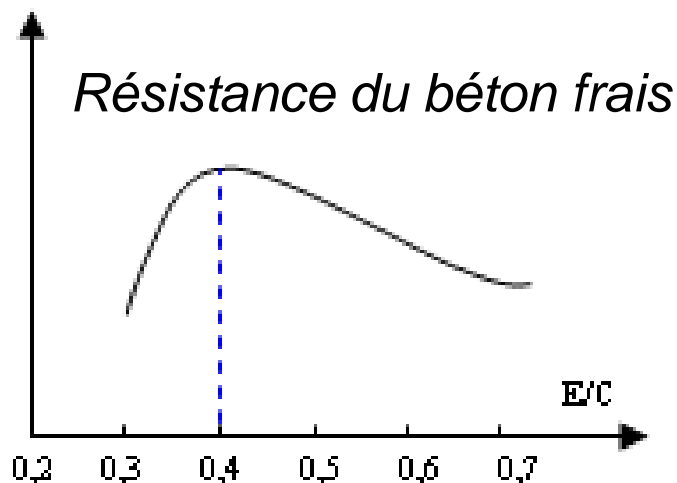
VI.6 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU BÉTON FRAIS

VI.6.1. Résistance du béton frais.

La **résistance** du béton **frais** est **faible**, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le **démoulage immédiat** (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

À la suite d'études faites sur ce sujet, il semble que:

1. Le rapport optimal E/C est voisin de 0,40 (béton plutôt sec),
- 2. Le pourcentage optimal est d'environ 0,38 (soit : G/S = 2,6 valeur élevée),
- 3. Les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés,



La résistance en **compression** peut atteindre **0,3 à 0,4 MPa** tandis que celle en **traction** ne dépasse guère **1/100^e** de ces valeurs, soit **0,004 MPa**.

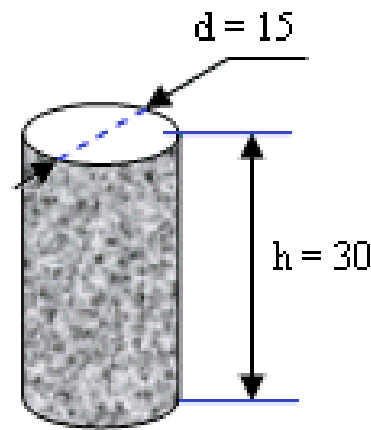
VI.6.2 La résistance du béton durcissant

La **caractéristique essentielle du béton durci** est la **résistance mécanique en compression** à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

Par ailleurs, la **résistance du béton** est fonction d'une **quantité de facteurs** autres que la **classe de ciment** et qui sont à contrôler et à surveiller dès le choix de la **qualité des granulats** et tout au long de la chaîne de bétonnage. La résistance d'un béton est une notion toute relative et elle dépend de la méthode d'essai utilisée (comprenant la forme des éprouvettes).

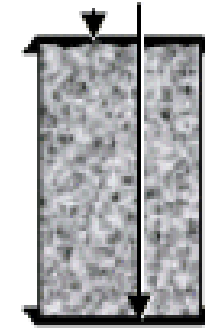
VI.6.2.1. La résistance en compression

La **résistance en compression** à 28 jours est désignée par f_{c28} . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 ($d = 15,96$ cm) dont la section est de 200 cm². **La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres $d = 15$ cm de $H = 30$ cm.**



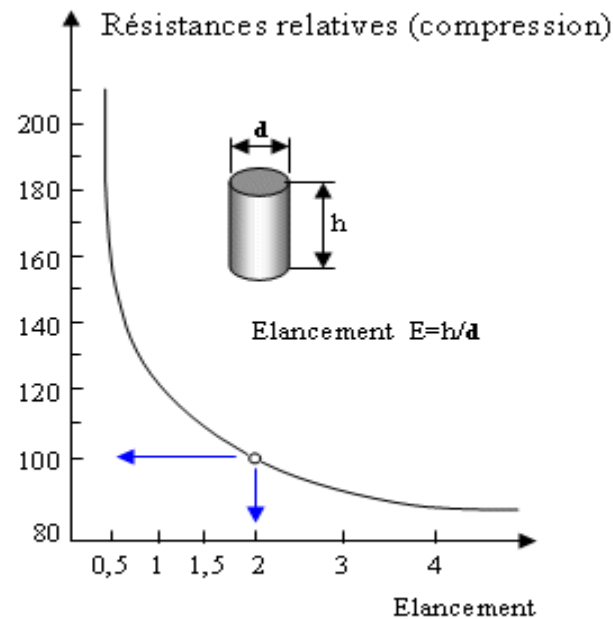
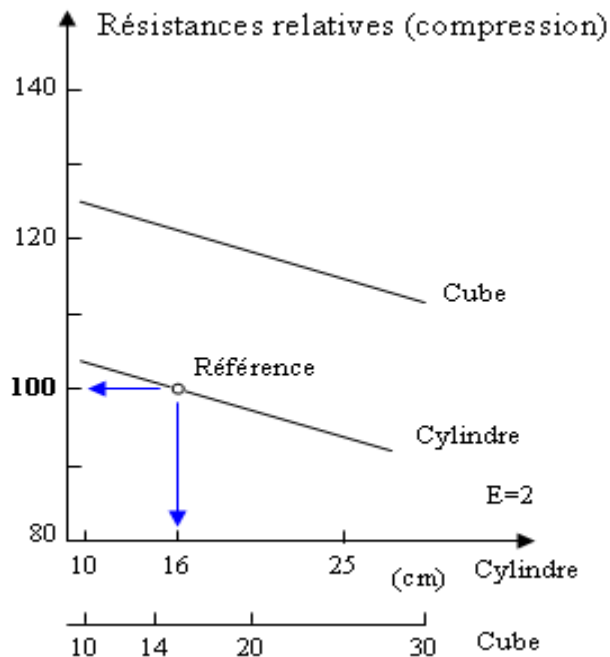
La dimension de l'éprouvette pour mesurer la résistance en compression

2 faces planes, perpendiculaires aux génératrices



Le surfacage au soufre de l'éprouvette pour l'essai sous presse

Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression



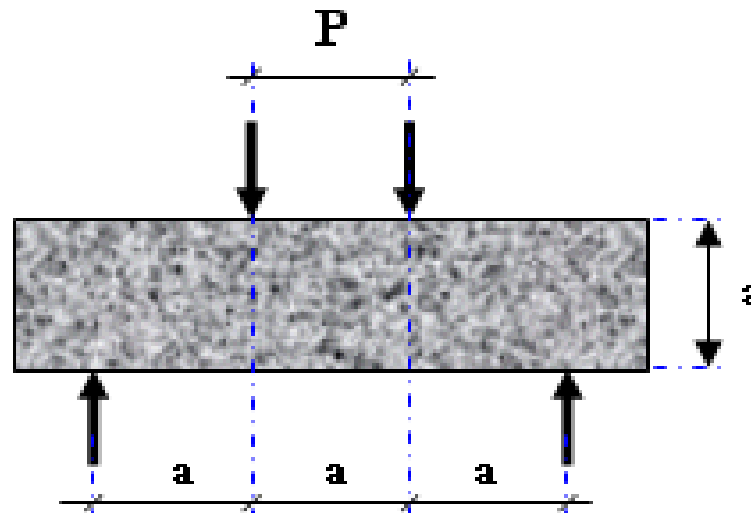
La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée) et à l'échéance fixée.

VI.6.2.2. La résistance en traction

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la **résistance en traction**, en **flexion**, au **cisaillement**. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

➤ La résistance en traction - flexion

Les essais les plus courants sont des essais de **traction par flexion**. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élançement 4, reposant sur deux appuis (Fig.A):



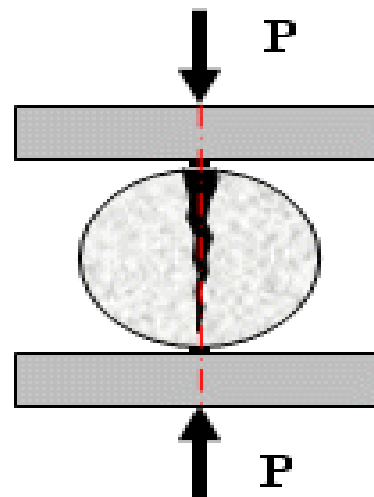
A. Essai de traction
par flexion

➤ La résistance en traction par fendage

L'essai consiste à **écraser un cylindre de béton** suivant deux **génératrices opposées** entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{tj} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

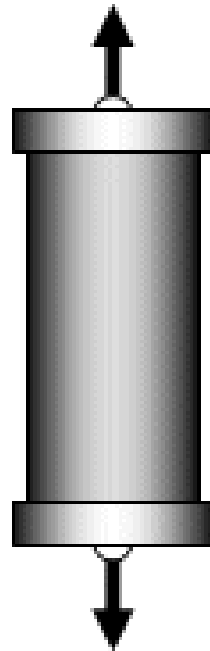
avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ;
D et L = diamètre et longueur du cylindre.



B. Essai de traction par fendage

➤ La résistance en traction directe

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.



C. Essai de traction
direct

VI.7 LA DÉFORMATION DES BÉTONS.

La **résistance mécanique** et la **déformation** sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non pas seulement pour la **stabilité**, mais aussi la **durabilité des ouvrages**.

VI.7.1. Le retrait

C'est la **diminution de longueur** d'un élément de béton. On l'assimile à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.

Causes et constatation	Remèdes
Le retrait avant-prise est causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton. Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.	Ils s'agit de s'opposer au départ brutal de l'eau par : - la protection contre la dessiccation. - l'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
Après la prise, il se produit : - Le retrait thermique dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment. On constate une légère diminution de longueur.	Il faut éviter de surdoser en ciment. Les ciments de classe 45 accusent moins de retrait que ceux de classe 55 de durcissement plus rapide.
- Le retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment. Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.	Le béton aura d'autant moins de retrait qu'il sera plus compact ; ce qui dépend de la répartition granulaire, car un excès d'éléments fins favorise le retrait ainsi que les impuretés (argiles, limons).

Estimation du retrait : $\Delta l = 3 \text{ ‰} \times L$.

Δl – est le raccourcissement.

L – est la longueur de l'élément.

Si une corniche en béton armé a une longueur de 15 m, le retrait est de l'ordre de: $3 \text{ ‰} \times 1500\text{cm} = 0,45 \text{ cm}$.

VI.7.2. La dilatation

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à 1×10^{-5} , pour une variation de $\pm 20 \text{ °C}$ on obtient: $\Delta l = \pm 2 \text{ ‰} \times \text{longueur}$. Pour chaînage en B.A. de 20 m de longueur et un écart de température de 20 °C , on a une dilatation de : $2 \text{ ‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$.

VI.7.3. Le fluage

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau VISCO-ELASTIQUE. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage. Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans.

Au bout d'un mois, les 40 % de la déformation de fluage sont effectués et au bout de six mois, les 80%. Estimation de la déformation de fluage:

$\Delta l = 4 \text{ à } 5 \text{ ‰} \text{ longueur}$.

VI.7.4. Élasticité du béton

Le module d'élasticité E est défini par le rapport:

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}}$$

Pour les projets courant, on admet:

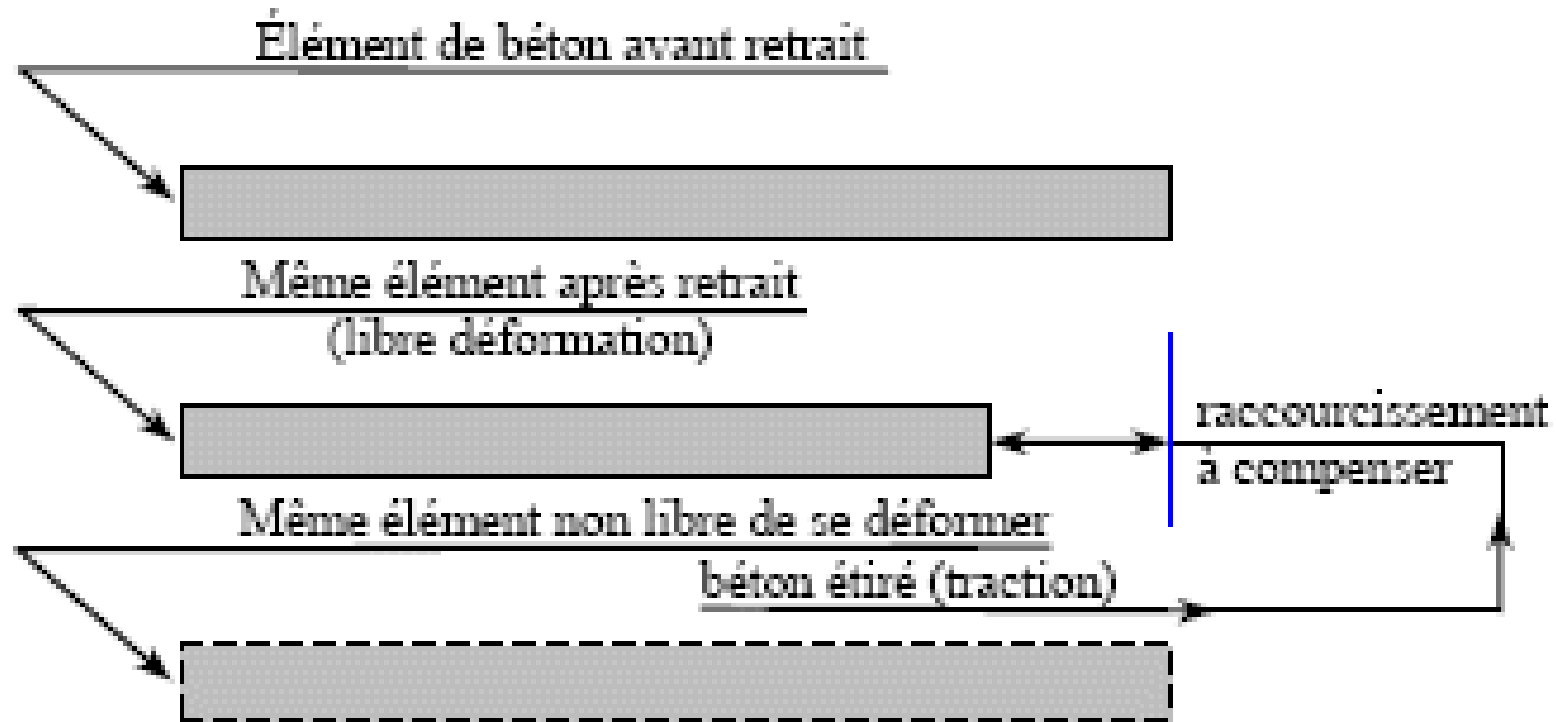
$E_{ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3}$ (module de déformation longitudinale instantanée du béton) avec f_{cj} = résistance caractéristique à « j » jours. $E_{vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3}$ (module de déformation différée) avec $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$. Il s'ensuit que

$$E_{vj} \approx \frac{1}{3} \text{ de } E_{ij}. \quad \text{Notes : } E_{ij}, E_{vj}, f_{c28}, f_{cj} \text{ sont exprimés en MPa.}$$

VI.7.5. Effet «Poisson»

En compression comme en traction, la déformation longitudinale est aussi accompagnée d'une déformation transversale.

VI.7.6. Mécanisme de la fissuration



Le phénomène de **retrait** étire le béton de telle façon que l'allongement résultant compense le raccordement imposé par le retrait, si l'élément était libre de se déformer. Le retrait augmente avec le temps, la tension interne aussi: si elle dépasse la limite de rupture du béton, la fissuration se produit.

VII. BRIQUES, BLOCS DE BÉTON ET BÉTON PRÉFABRIQUÉ

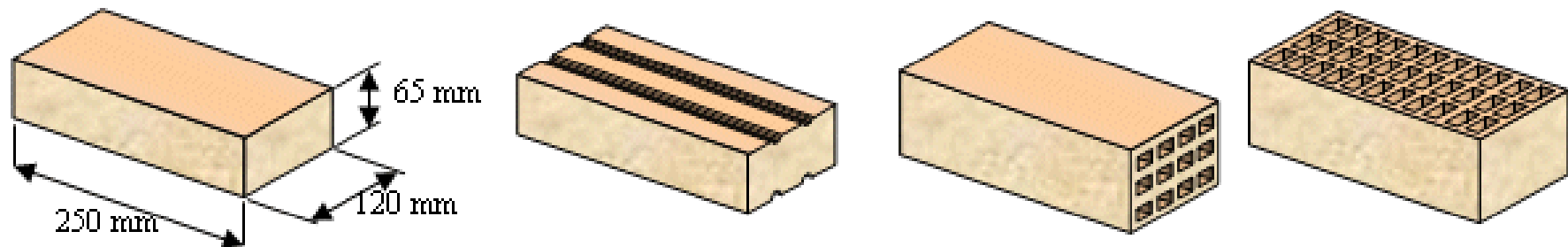
VII.1. BRIQUES

Les **briques** sont les **produits céramiques**, dont les matières premières sont des **argiles**, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement **parallélépipède rectangle**. Elles sont couramment utilisées dans la **construction des bâtiments et des travaux publics**. Par rapport aux autres matériaux, c'est un des **plus anciens matériaux de construction**. Les briques peuvent se diviser en **3 groupes principaux** :

1. Brique ordinaire

Une **brique d'argile** est une **roche artificielle** ayant la forme parallélépipédique rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant **deux procédés**: **procédé plastique** (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25 %) et **procédé demi-sèche** (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12 %).

En général, les **dimensions** d'une brique ordinaire sont: 250 x 120 x 5 mm. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions **exactement précises**, à cause du **retrait à l'air et retrait de cuisson**. Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante: **±6 mm sur la longueur; ± 4 mm sur la largeur et ±3 mm sur l'épaisseur**.



Briques pleines et perforées

On distingue la **masse volumique** des briques courantes en **quatre groupes**

Classe	A	B	C	D
Masse volumique (Kg/m ³)	700 – 1000	1000 – 1300	1300 – 1450	Supérieur de 1450

Dimensions et résistances des briques

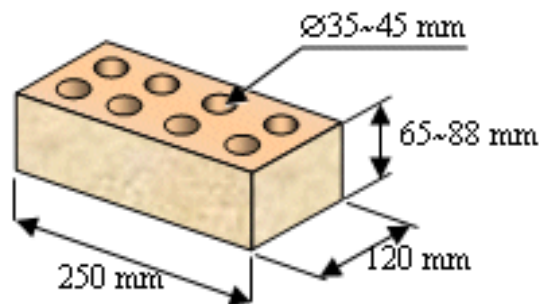
Dimensions courantes (mm)				Résistances moyennes		
	Epaisseur	Largeur	Longueur	Catégorie	Résistance	
					MPa	Bar
Briques pleines	40	105	220	I	20	200
ou	55	105	220	II	30	300
perforées	60	105	220	III	40	400
	55	105	330			
Tolérances sur briques calibrées:						
<ul style="list-style-type: none"> • 3 % sur longueur et largeur • 3 mm sur hauteur 				1 MPa = 10 bars 1 bar = 10 Newton/cm ²		

2. Brique poreuse

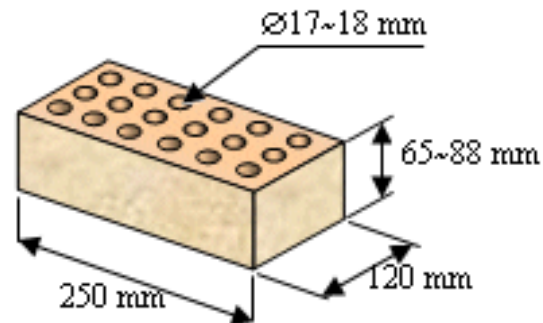
Les briques poreuses peuvent être fabriquées par la technologie traditionnelle en utilisant les **argiles ordinaires**, auxquelles on ajoute des **additions** fusibles (sciure de bois, tourbe pulvérisée, charbon pulvérisé).

3. Briques d'argiles creuses à perforations

Les **briques creuses** qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie **demi-sèche**. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes: **250 x 120 x 88** ou bien **65**. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm.



Brique à 8 conduits



Brique à 18 conduits

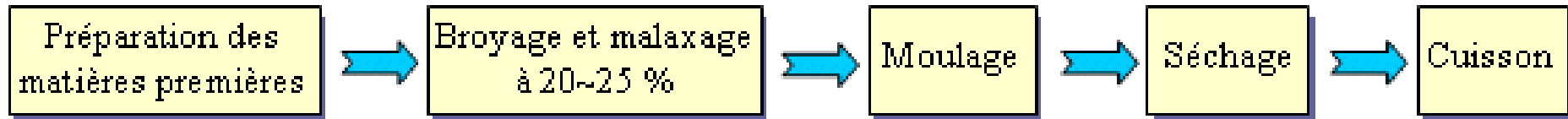
Briques creuses comprimées par voie demi-humide.

VII.1.1. Principe de fabrication des briques

Les **briques** sont obtenues par **cuisson** de certaines **argiles** à une température de environ **1000 C°**. Par combinaison chimique à partir de **700 C°**, l'argile en perdant son eau, se transforme en **terre cuite**. L'oxyde de fer des argiles donne la **coloration aux briques**.

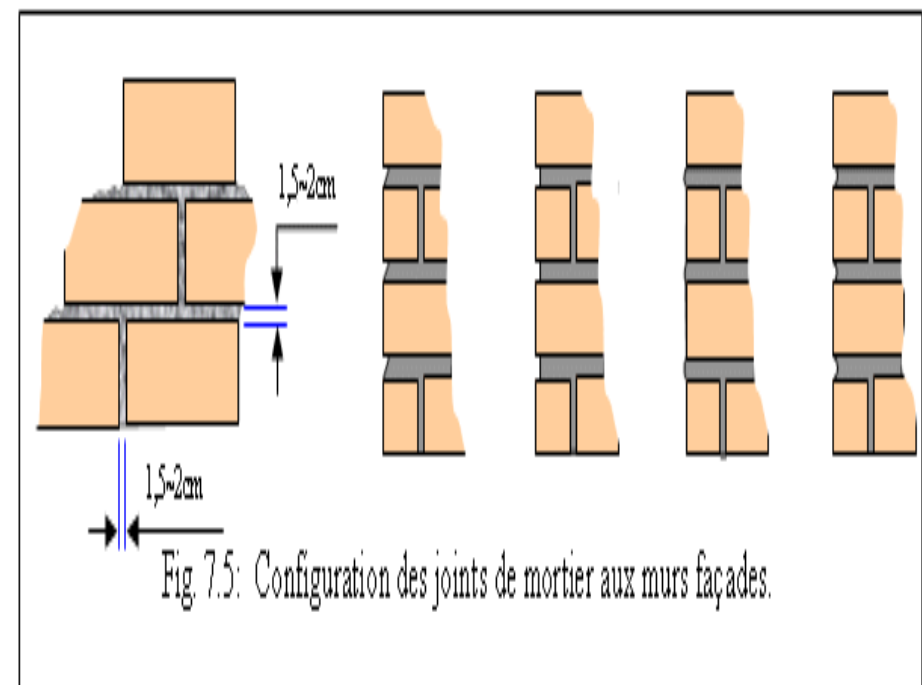
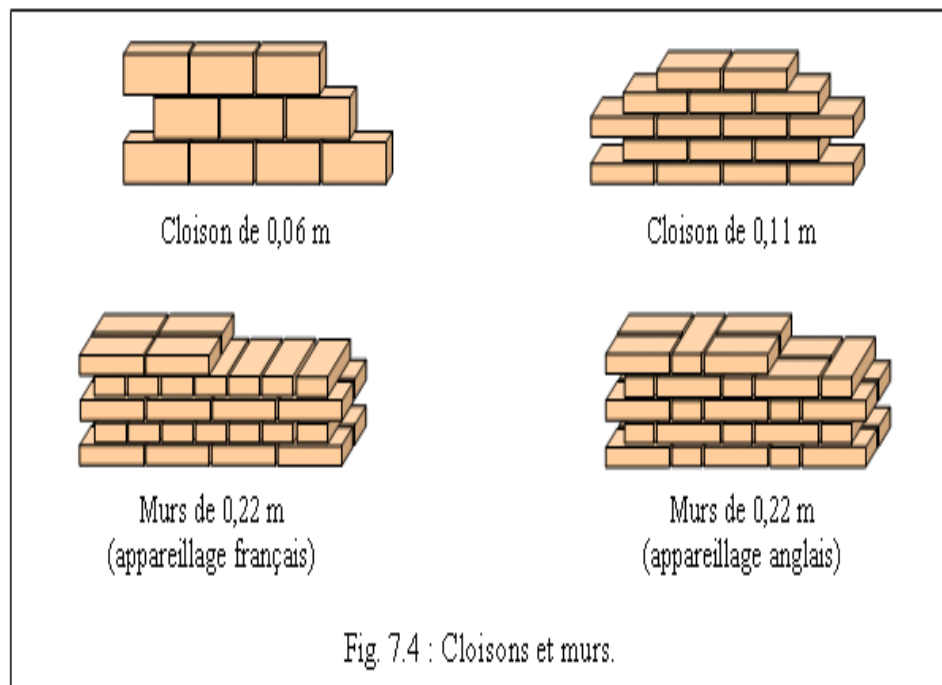
En général la fabrication des briques se compose des cinq opérations principales comme indiquées sur le schéma ci-dessous.

Schéma de la fabrication des Briques.



VII.1.2. Domaine d'emploi

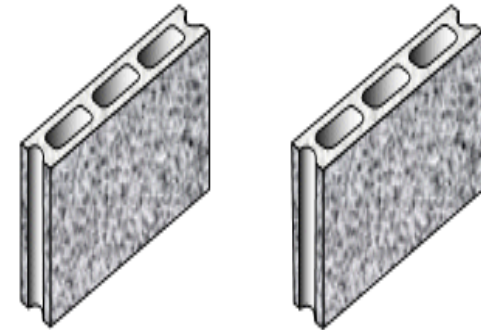
Les **briques pleines** et les **briques creuses** sont essentiellement utilisées pour réaliser les **murs**, les **cloisons**, les **colonnes** en brique etc.



VII.2. BLOCS DE BÉTON.

En général les **blocs de béton** peuvent se classer en **trois catégories**, selon l'importance de la surface des alvéoles:

1. blocs pleins sans alvéoles,
2. blocs perforés (section nette > 80% section brute),
3. blocs creux (section nette > 60% section brute).



VII.2.1. Principe de fabrication des blocs de béton

Les **blocs de béton** sont obtenus par **pression** ou bien par **vibration** de mélange: ciment + sable + eau et granulats courants ou bien granulats légers. Pour obtenir les blocs de béton avec la dimension la plus précise, les moules utilisés doivent avoir une stabilité suffisante donc ils sont **métalliques**. Après **démoulage**, les produits (blocs de béton) doivent être **stocker** dans un endroit favorable (humidité ~ 95 %), où ils peuvent **prendre le durcissement** pour ensuite être **transporter à la construction**. En général, la fabrication des blocs de béton se compose de cinq opérations principales comme indiquer sur le **schéma ci-dessous**.

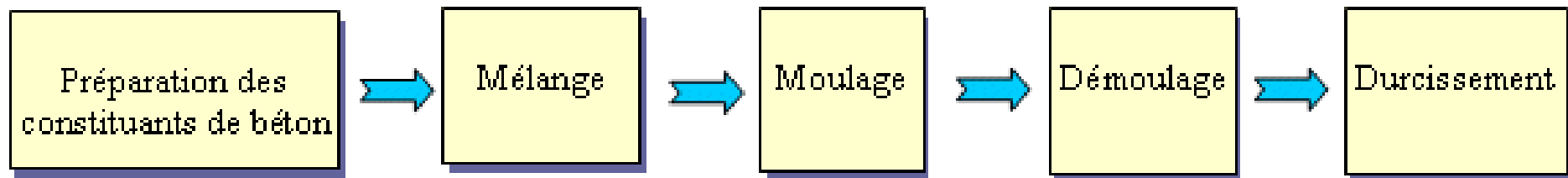


Schéma de la fabrication des blocs de béton.

VII.2.2. Domaine d'utilisation des blocs de béton

En général les blocs de béton sont utilisés dans différents types d'ouvrage surtout pour réaliser les murs et les cloisons de bâtiments (tableau suivants). *Domaine d'utilisation des blocs en béton de granulats courants*

Domaine d'utilisation des blocs		Dessin	Dimensions d'appellation	Masse indicative (kg)	Type d'ouvrage					
					Façade	Refend	Soubassement enterré	Cloison	About de plancher	
Blocs en béton de granulats courants (NF P 14-301)	creux		1	5 ^s x 20 x 50	7 ^s				✓	✓
			1	7 ^s x 20 x 50	10 ^s				✓	✓
			1	10 x 20 x 50	11				✓	
			1	12 ^s x 20 x 50	12	✓			✓	
			1	15 x 20 x 50	13	✓	✓		✓	
			2	15 x 20 x 50	16	✓	✓		✓	
			2	17 ^s x 20 x 50	17 ^s	✓	✓		✓	
			2	20 x 20 x 50	19	✓	✓	✓	✓	
			3	20 x 20 x 50	20	✓	✓	✓		
			4	22 ^s x 20 x 50	23	✓	✓	✓		
		5	27 ^s x 20 x 50	29	✓	✓	✓			
	pleins et perforés		1	5 ^s x 20 x 40	7 ^s					
			1	5 ^s x 20 x 50	9 ^s				✓	✓
			2	5 ^s x 20 x 40	6					
			2	5 ^s x 20 x 50	8					
			1	7 ^s x 20 x 40	10 ^s					
			1	7 ^s x 20 x 50	13				✓	✓
			2	7 ^s x 20 x 40	8 ^s					
			2	7 ^s x 20 x 50	11					
			1	10 x 20 x 40	14					
		1	10 x 20 x 50	17 ^s	✓			✓		
	3	10 x 20 x 40	11 ^s							
	3	10 x 20 x 50	14							
	1	12 ^s x 20 x 40	17							
	1	12 ^s x 20 x 50	22	✓			✓			
	3	12 ^s x 20 x 40	14							
	3	12 ^s x 20 x 50	17 ^s							

Domaine d'utilisation des blocs en béton de granulats légers

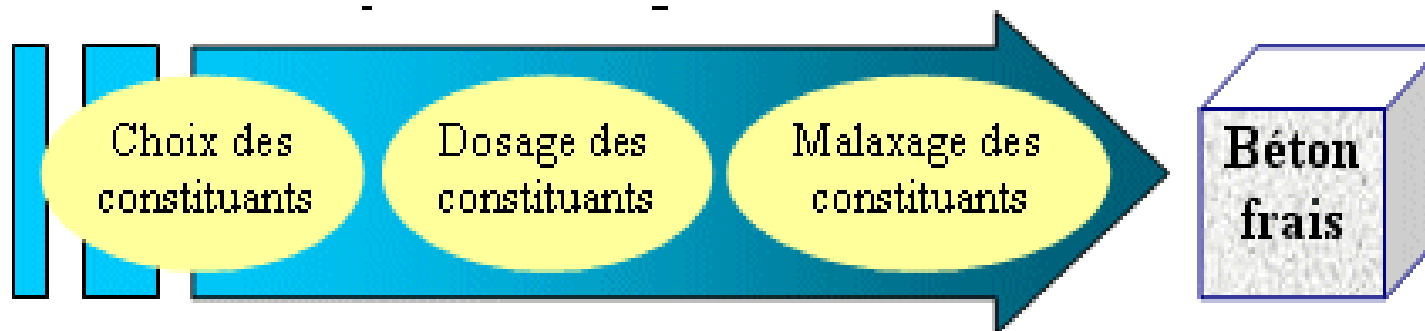
Domaine d'utilisation des blocs		Dessin	Dessin	Dimensions d'appellation (E×H×L) cm	Masse indicative (kg)	Type d'ouvrage				
						Façade	Refend	Soubassement enterré	Cloison	About de plancher
Blocs en béton de granulats léger (NF P 14-301)	creux		1	5×20×50	3 ^s				✓	✓
			1	7 ^s ×20×50	5				✓	✓
			1	10×20×50	7 ^s	✓			✓	✓
			2	15×20×50	11	✓	✓		✓	✓
			2	17 ^s ×20×40	11 ^s	✓	✓		✓	
			2	17 ^s ×30×40	17 ^s					
			2	20×20×50	13	✓	✓	✓	✓	
			2	20×30×50	18					
			2	22 ^s ×20×50	15	✓	✓	✓		
			2	22 ^s ×30×50	19					
	pleins et perforés		2	25×20×50	17	✓	✓	✓		
			3	27 ^s ×20×50	18 ^s	✓	✓	✓		
			4	27 ^s ×20×50	19	✓	✓	✓		
			3	30×20×50	21	✓	✓	✓		
			1	5×20×50	5				✓	✓
			2	5×20×50	4 ^s					
			1	10×20×50	8	✓			✓	
			1	15×20×50	11					
			1	15×30×50	17	✓	✓		✓	
			1	17 ^s ×20×50	13	✓	✓		✓	
			1	20×20×50	15	✓	✓	✓		
			3	20×30×50	23					

VII.3 BÉTON PRÉFABRIQUÉ.

Le **béton frais** est une sorte de matériaux de construction, dont les constituants sont le **ciment**, les **granulats**, **l'eau** et éventuellement des **adjuvants** soit liquides, soit en poudre. Dans le béton frais lors de sa fabrication existe aussi **l'air**, qui joue un rôle non pas seulement sur sa plasticité, mais également sur ses déformations et ses propriétés finales.

VII.3.1. Fabrication du béton frais

La **fabrication du béton** se fait en trois **étapes principales** : le **choix des matériaux** (constituants) qui vont être utilisés pour réaliser un béton , le **dosage des constituants** pour déterminer les propriétés principales du béton frais ainsi qu'en l'état durci (résistance à la compression, la durabilité etc.) et le **malaxage**, qui est une des phases importantes de la fabrication du béton, car il va conditionner la qualité de son homogénéité, donc pour assurer la réussite de cette dernière opération, il faut choisir un matériel adapté et bien déterminer un temps de malaxage suffisant.



*Schéma de la fabrication du béton frais*₅₆

VII.3.2. Le béton préfabriqué

Le **béton préfabriqué** (produit en béton fabriqué en usine) est la production **industrialisée de composants**. Cette production s'est axée depuis plusieurs années sur les composants de structures :

1. poteaux et poutres en béton précontraint ou armé,
2. composante de façade,
3. éléments pour plancher : prédalles, poutrelles, dalles, alvéolées,
4. escaliers, béton à bancher,
5. dalles de couverture

La **fabrication** en usine de produits en béton permet de **rationaliser** la production, d'apporter la **qualité** d'une fabrication industrielle et de réaliser une **importante économie de main-d'œuvre** sur le chantier. La gamme des éléments élaborés en usine est très **diverse**, depuis l'élément standardisé comme le bloc jusqu'à des éléments qui ont plusieurs avantages.

L'opération de la fabrication du béton préfabriqué généralement se compose de la **préparation** du **béton frais**, la **préparation des armatures** (mailles, cadres, treillis soudé etc.), la **mise en œuvre** les armatures, le bétonnage et compactage (par vibration) , le durcissement (cure), comme indiqué sur cette figure.

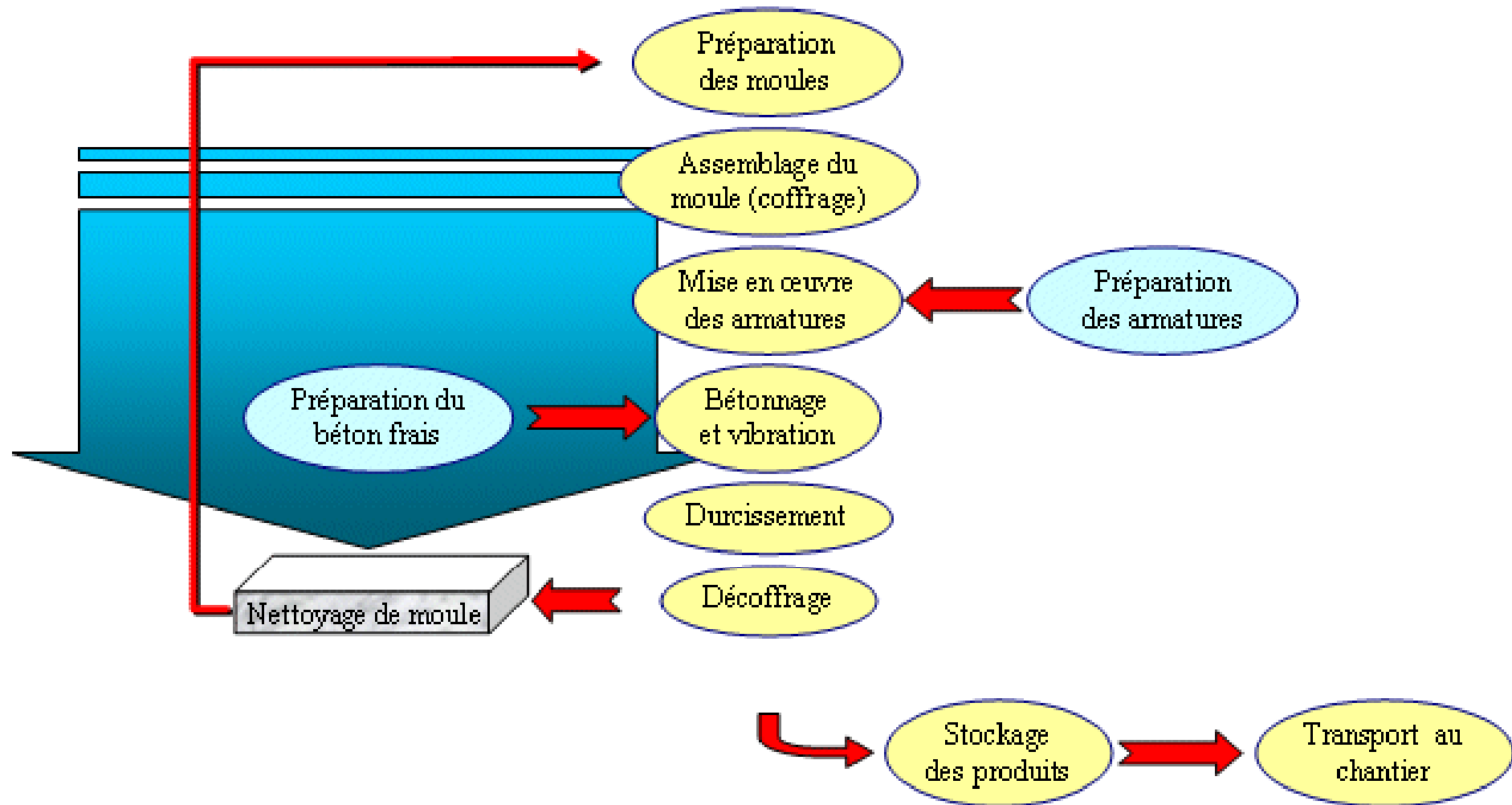


Schéma de la fabrication du béton préfabriqué.