

# CHAPITRE II

## II.1. LE MOULAGE :

### II.1.1. Le Procédé :

C'est un ensemble de phases visant à mettre forme un matériau dans sa phase liquide (en fusion) en l'insérant dans une empreinte correspondant à la forme négative de la pièce désirée réalisée dans un matériau réfractaire .Le matériau conservera sa forme par transition vers sa phase solide.

### II.1.2. Types de moulage :

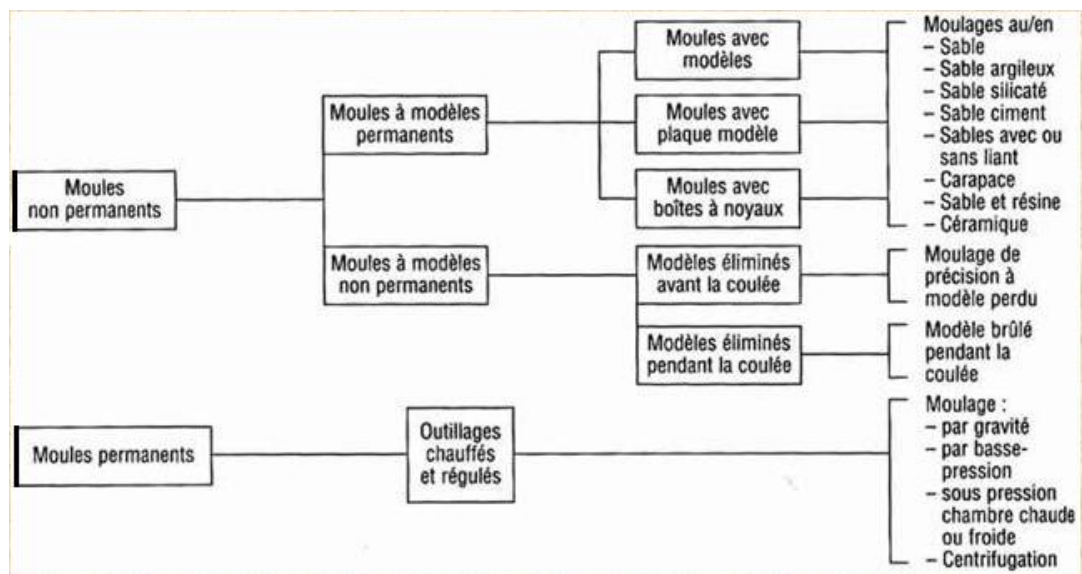


Figure II.1 : Types de moulages.

#### II.1.2.2. Le moule non permanent :

Est une structure principalement réalisée en matériaux de moulage, composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte finale. Cette empreinte correspond à la pièce brute (en tenant compte du retrait et aux systèmes de remplissage et d'alimentation). Après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute. Chaque partie du moule correspondant à une forme de la pièce constitue une empreinte partielle. Une empreinte donne généralement les formes extérieures de la pièce. Un noyau donne généralement les formes intérieures de la pièce.

### **II.1.2.2. Le moule permanent :**

Peut supporter plusieurs coulées successives avant sa mise hors service. Les opérations fondamentales que sont le moulage (obtention des formes), le remplissage en alliage liquide, l'alimentation de la pièce pendant la solidification et enfin le démoulage de cette pièce sont assurés par le moule qui devra être mécanisé presque totalement. La répétition de ces opérations amène à parler de cycle de moulage et de cadence de production, qui sont spécifiques à chaque moule. Le remplissage et l'alimentation sont déterminés par la pesanteur, le moule étant appelé coquille, d'où la désignation courante de ce procédé de moulage coulée en coquille, par gravité. Ce procédé peut être utilisé avantageusement à partir d'une série minimale de 2000 pièces.

## **II.2. COULAGE EN BARBOTINE : [4].**

Ce procédé est très largement utilisé dans la fabrication des appareils sanitaires, de la vaisselle et des objets décoratifs ainsi que pour la fabrication des céramiques techniques et des produits réfractaires spéciaux et complexes. On mélange la matière minérale finement broyée avec de l'eau pour produire une barbotine d'argile (suspension aqueuse stable) que l'on verse dans un moule poreux traditionnellement en plâtre à gypse durci. La capillarité du moule extrait le liquide de la suspension pour former une coulée extrêmement solide sur la surface interne du moule. L'épaisseur de la paroi augmente progressivement et, au fil du temps, on obtient (le cas échéant) un corps complètement solide avant démoulage. Les appareils sanitaires sont relativement de grande taille et sont formés par un coulage classique en barbotine ou (plus directement) dans des machines de coulage sous pression.

### **II.2.1. Mise en forme de barbotines : [2].**

#### **II.2.1.1. Coulage en moules creux :**

Le coulage en barbotine est une technologie de mise en forme de céramique largement utilisée lorsque des formes compliquées et/ou de grandes pièces doivent être réalisées. Le coulage en barbotine consiste à remplir un moule poreux avec une suspension céramique coulable (la barbotine). Le moule poreux absorbe l'eau de la barbotine par capillarité et les particules céramiques se concentrent sur les parois du moule, formant une couche consolidée. Pour les coulages «en creux», une fois que l'épaisseur désirée est atteinte, le bar excédentaire est vidé hors du moule. Si un coulage «en plein» est requis, de la barbotine supplémentaire peut être ajoutée pour assurer un apport constant de solide lors

de la diminution du volume de barbotine (due au passage de l'eau de la barbotine dans le moule). La pièce est ensuite retirée du moule immédiatement ou après une période de séchage, suivant ses propriétés mécaniques. Les temps de coulage sont généralement compris entre 20 et 90 minutes, mais peuvent être plus longs pour les coulages en plein («entre deux plâtres de suspensions constituées de fines particules. Si la pièce coulée est suffisamment plastique, elle peut être ébarbée et modifiée avant séchage. Dans le cas des pièces sanitaires représentées (figure 2.2) des trous de robinets peuvent être coupés et la ligne du moule ébarbée (le moule se présente souvent en deux parties maintenues ensemble pour faciliter le démoulage, mais une mauvaise jointure peut laisser une ligne apparente, souvent visible sur les tasses céramiques bon marché). Le coulage en barbotine est utilisé pour mettre en forme par exemple beaucoup des pièces produites en porcelaines fines, des creusets à parois fines, des réfractaires à formes complexes, des tube à bouts fermés, ainsi que de grosses pièces sanitaires en grés cérame ou en vitreous (toilettes et lavabos).



**Figure II.2** : Exemples de pièces céramiques sanitaires de grandes tailles et de formes complexes réalisées par coulage de barbotines en moules poreux :: (a) cuvette (b) lavabo de W-C.

### II.2.1.2. Coulage sous pression :

Il est entendu par coulage sous pression tous types de coulage où la pression exercée sur la barbotine est supérieure à la pression atmosphérique que l'on a dans le cas d'un coulage à ciel ouvert. Habituellement, la croûte, formée sur la paroi du moule, est créée par l'aspiration de l'eau de la barbotine par les pores du plâtre. Ce sont les seules forces capillaires qui provoquent cette aspiration, ce qui impose des temps de prise relativement longs. Mais si l'on adjoint à ces forces une poussée sur la barbotine, l'eau contenue dans celle-ci pénétrera plus facilement dans le moule, et par conséquent le temps de prise diminuera. En partant de ce principe, on peut arriver à diminuer des temps de prise de plus de 90%, mais les pressions utilisées sont telles que l'on a dû développer des matériaux plus résistants que le plâtre.

On distingue donc deux types de coulage sous pression :

- Coulage moyenne pression dans des moules plâtre entre 2 et 6 bars.
- Coulage haute pression dans des moules en résine, entre 12 et 40 bars.

#### II.2.1.2.1. Coulage moyenne pression :

On trouve ce type de procédé dans l'industrie céramique. La réalisation du moule est complexe puisqu'elle se rapproche de celle d'un moule de «RAM-processus». Celui-ci dispose de gaines poreuses pour pouvoir aspirer et extraire l'eau de la barbotine et véhiculer l'air et l'eau pour le démoulage. De plus, le moule doit posséder une porosité ouverte déterminée. Les pressions d'utilisation de ce genre de moule se situent entre 2 et 6 bars, et nécessitent donc un plâtre plus résistant. Le rendement est de l'ordre de deux pièces à l'heure. Compte tenu de la difficulté de mise en œuvre des moules, de leur coût et de leur rendement, ce procédé n'est pas très répandu, mais a permis d'évoluer vers des moules plus performants et ainsi d'accéder aux techniques de coulage haute pression.

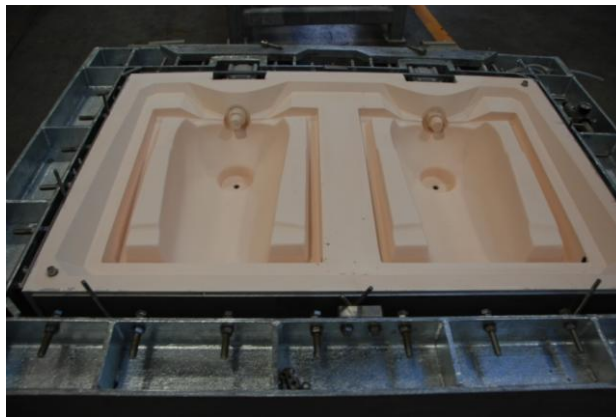


**Figure II.3 :** Coulage moyenne pression.

#### II.2.1.2.2. Coulage haute pression :

Il reprend le même principe que le précédent, mais les moules sont composés d'une couche de résine de synthèse poreuse et d'un réseau de canaux permettant la distribution des fluides dans le moule. L'avantage de ces moules est de pouvoir résister à de grandes pressions (de 12 à 40 bars), ainsi qu'à l'abrasion, ce qui permet d'obtenir des pièces avec un temps de prise d'environ six minutes pour le sanitaire (petite pièce) et de descendre sous la minute pour les pièces de platerie en vaisselle.

Les avantages de ce procédé sont une amélioration du rendement et de la qualité, ainsi qu'un minimum d'encombrement. Les inconvénients sont la nécessité de grandes séries pour rentabiliser le coût de l'installation et des moules, et des contraintes de formes qui imposent des pièces qui doivent pouvoir sortir de moules en deux parties. La mise en place de sous-pièces et des plans de joint qu'elle engendre, étant peu compatible avec les pressions utilisées.



**Figure II.4 :** Moules pour coulage à haut pression, en résine poreuse BTROP.

### II.3. SECHAGE : [6].

Quel que soit le mode de façonnage utilisé, la pâte céramique contient une quantité d'eau qu'il est nécessaire d'évacuer avant la cuisson afin d'éviter les fentes ou la casse des pièces, dues à un échauffement trop rapide.

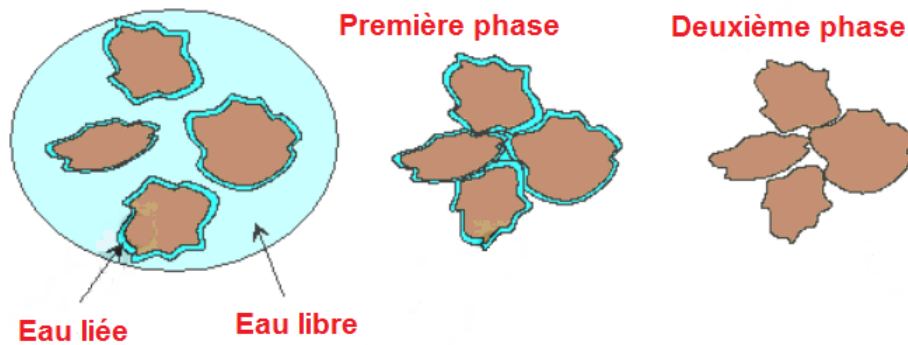
#### II.3.1. Effets du séchage :

**Durcissement :** Au fur et à mesure que les pâtes perdent de l'eau, leur plasticité diminue et elles deviennent rigides, ce qui permet leur manipulation.

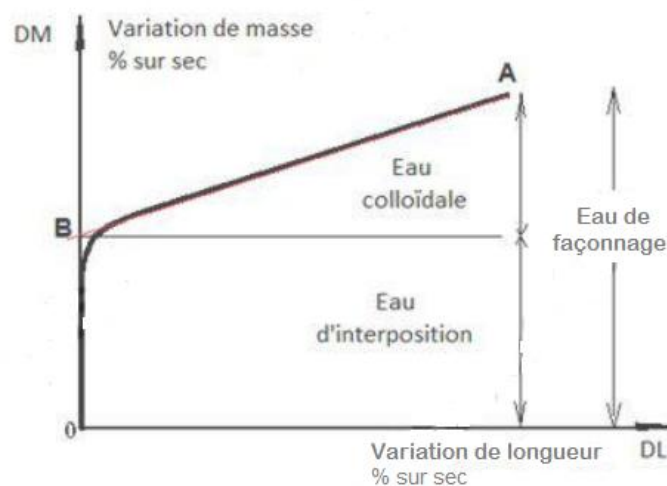
**Retraits et perte de poids :** L'eau qui s'évapore provoque une perte de masse et une diminution de volume. Il y a deux phases : Le retrait est proportionnel à la masse d'eau éliminée : c'est le départ de l'eau libre (colloïdale).

L'eau continue de s'évaporer sans retrait de la pâte, celle-ci devient poreuse et le volume des pores correspond au volume d'eau éliminé dans cette phase : c'est le départ de l'eau d'interposition ou eau liée (Figure II.5).

Ces différentes phases sont mises en évidence par la «courbe de Bigot». C'est dans la première phase que peuvent se produire les accidents tels que déformations, fentes, gerces...



**Figure II.5 :** Retrait et perte de poids.



**Figure II.6 :** Courbe de BIGOT.

### II.3.2. Les différents modes de séchage :

**Séchage par convection** : l'air sert d'agent de transport thermique et à la vapeur d'eau. Il lèche les pièces en transmettant sa chaleur pour permettre la migration de l'eau à travers la pâte et par diffusion, capte la vapeur d'eau issue de celle-ci.

**Séchage par conduction** : le produit à sécher se trouve sur des surfaces chauffantes, la chaleur est transmise par contact direct, il faut effectuer le transport de la vapeur par convection.

**Séchage par rayonnement** : l'air ne participe pas au transport de la chaleur, celle-ci est transmise par rayonnement lumineux (le plus souvent à l'aide de résistances électriques chauffées au rouge) ou par des parois chaudes (plaques réfractaires chauffées à l'arrière par des brûleurs). Le transport de la vapeur doit de nouveau être effectué par un brassage de l'air et une évacuation de celui-ci.

**Séchage par micro-ondes** : la chaleur est directement appliquée au cœur de la pièce par les pertes diélectriques sous des ondes hautes fréquences, qui provoquent l'élévation de température.

### II.3.3. Mécanisme du séchage : [10].

L'évaporation de l'eau se fait à la surface de la pièce. Il y a migration de l'eau de l'intérieur vers l'extérieur du produit. Pour éviter des différences de retrait trop rapide dans la masse des pièces pendant la première phase du séchage, il faut :

- ralentir l'évaporation superficielle de l'eau.
- faciliter le cheminement de l'eau à travers les pièces.

#### II.3.3.1. Facteurs influant sur la vitesse d'évaporation superficielle : [11].

##### a. Température et humidité de l'air :

La quantité d'eau qui peut être absorbée par un mètre cube d'air croît rapidement avec la température. Elle n'est pas infinie et dépend également de l'humidité de l'air au départ. Si l'air envoyé dans le séchoir est déjà saturé, par temps d'orage par exemple, celui-ci ne pourra absorber qu'une très faible quantité d'eau.

##### b. Renouvellement de l'air séchant :

Lorsque l'air envoyé dans le séchoir est saturé en eau, il faut l'évacuer et introduire de l'air sec afin de poursuivre le séchage.



**c. Ventilation :**

Afin que toutes les capacités de l'air séchant soient utilisées et que le maximum de surface d'une pièce soit en contact avec celui-ci, il est nécessaire de ventiler pour assurer une circulation et un brassage le plus homogène possible.

**d. Nature de la surface à sécher :**

Une surface rugueuse développe une plus grande surface de séchage qu'une surface lisse.

**II.4. PLATES ET DISPERSIONS : [2].**

Plusieurs méthodes de mise en forme recourent à l'utilisation de pates ou de dispersions, tel que le calibrage, le coulage en barbotine et le moulage par injection. Les principaux éléments à considérer lors de la production d'une pate ou d'une dispersion sont :

- le mouillage de la surface de la poudre par le liquide.
- la dispersion de la poudre dans le volume de ce liquide par mélange ou agitation.
- la rupture des agglomérats (mous) ou des agrégats (durs) par un traitement aux ultrasons ou par broyage.
- la capacité de maintenir la poudre bien dispersée dans le milieu dispersant et d'éviter la régénération d'agglomérats ou la séparation des phases liquide et solide par sédimentation.

On utilise communément le terme de stabilisation colloïdale pour décrire le comportement consistant à ne pas régénérer d'agglomérats. L'origine de ce terme vient du fait que ces phénomènes ont été intensément étudiés pour des systèmes colloïdaux pour lesquels la taille des particules ( $< 0,5 \mu\text{m}$ ) ne laisse qu'un rôle négligeable à la gravité. Pour l'usage plus général, il conviendrait d'utiliser le terme la stabilité de dispersion afin de prendre en compte toutes les forces pouvant induire une séparation de phases ou un changement dans l'état de stabilité d'une dispersion. Néanmoins nous adopterons le terme de stabilité colloïdale à cause de son acceptation généralisée, même si nos particules ne soient pas toujours classifiées dans le domaine colloïdal.

**II.4.1. Mouillage et rugosité de surface : [12].**

Le premier objectif à atteindre pour obtenir la dispersion d'une poudre dans liquide est le mouillage de la surface de la poudre. La plupart des céramiques traditionnelles sont constituées d'un mélange de minéraux et d'oxydes (par exemple dans le cas d'une porcelaine : quartz ( $\text{SiO}_2$ ), feldspath ( $6\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Na}_2\text{O}$ ) et kaolin ( $2\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) qui

sont des matériaux ioniques ayant des surfaces polaires qui peuvent donc être aisément dispersées dans des liquides polaires tel que l'eau. L'utilisation de l'eau comme composant principal du liquide dispersant représente un grand avantage tant au niveau du coût économique qu'environnemental. Les matériaux dont les liaisons sont plus covalentes, tels que les nitrures ou les carbures de silicium, sont moins facilement dispersables dans l'eau et il est souvent nécessaire de recourir à l'usage de solvants organiques. Un autre facteur à considérer lors de la sélection du liquide est la solubilité de la poudre céramique dans ce liquide. Il faut en effet éviter qu'un bon mouillage de la surface ne soit corrélé avec une solubilisation qui modifierait soit la stœchiométrie de la poudre soit ces propriétés de surface. Un exemple important illustrant cette remarque est le titanate de baryum ( $\text{BaTiO}_3$ ) dont la solubilisation préférentielle du baryum à pH élevé peut profondément influencer la nature de la surface et la stabilité de la dispersion. Des modifications mineures (0,1%) de la stœchiométrie de tel céramiques électroniques doivent être considérées avec attention parce qu'elles peuvent avoir un effet spectaculaire sur la microstructure (taille des grains) et sur les propriétés du matériau après frittage. Les aspects positifs d'une dispersion réalisée en milieu aqueux doivent être mis en balance avec les complications qui peuvent en découler sur les propriétés finales du matériau réalisé. Seul un examen détaillé de ces aspects permettra le choix optimal du procédé de fabrication.

#### II.4.2. Rhéologie : [13].

Quelle que soit l'étape technologique que l'on considère dans un organigramme décrivant la technologie céramique, le matériau qui est mis en œuvre est susceptible de se déformer et ce avec un comportement mécanique pouvant être parfois particulièrement complexe. Les suspensions que l'on appelle couramment barbotines céramiques sont formées de poudres en suspension dans un liquide, poudres que l'on mélange et que l'on broie. Elles forment un système particulièrement complexe composé de solides de formes pouvant être variées, eux-mêmes caractérisés par des propriétés de surface et ayant, en fonction de ces propriétés en particulier et en fonction de leur environnement, tendance soit à se rassembler en floculats ou, au contraire, à se disperser. IL est évident que, lors de l'étape de broyage, des contraintes mécaniques sont appliquées à ce fluide complexe. Ces contraintes auront pour conséquence sa déformation dont les paramètres permettant de la décrire seront directement conséquence en particulier de l'état de dispersion. Pour des barbotines destinées à réaliser des pièces céramiques mises en forme par coulage en bande, coulage en moule poreux creux ou par moulage par injection, il est de même très important

de savoir qualifier et quantifier l'écoulement sous les contraintes appliquées. Cela est particulièrement vrai lorsque les moules présentent des formes très complexes. Une pâte plastique destinée à être mise en forme par extrusion ou par calibrage doit répondre également à des propriétés bien spécifiques décrivant sa déformation en fonction des contraintes appliquées. On pourrait multiplier ainsi les exemples où il est fondamental pour le céramiste de connaître et maîtriser le paramètre déformation d'un fluide (terme pris dans le sens très large d'un matériau déformable) sous l'action des outils technologiques utilisés. Ce paramètre fait l'objet d'une branche de la mécanique appelée la **rhéologie**.

La rhéologie peut être définie comme la science de l'écoulement et de la déformation de la matière. Il s'agit d'une science relativement jeune puisque c'est vers 1920 que Bing Ham, Scott Blain et d'autres physiciens en fondèrent les bases et en créèrent le nom. Nous en donnerons ici quelques définitions fondamentales et discuterons ensuite des effets de la valeur de la fraction volumique, de la stabilité colloïdale, des liants et de la morphologie des particules sur le comportement rhéologique des barbotines et des pâtes.

#### a. La viscosité :

La viscosité a une signification uniquement pour les fluides newtoniens ou normaux. Il ne faut pas confondre le pseudo viscosité  $\eta_\gamma$  avec la courbe fournie par la majorité des rhéomètres  $\gamma/\tau$ .

$$\frac{\tau}{\gamma} = \frac{\tau_0 + K \cdot \gamma^n}{\gamma} \quad (II.1)$$

Ce rapport est souvent utilisé, mais il ne permet pas de caractériser correctement le comportement d'un fluide anormal. Il correspond à un pseudo viscosité à un gradient donné. La viscosité dynamique  $\eta$  (Pa .s).

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \quad (II.2)$$

$\tau$  La contrainte tangentielle (Pa) et  $dv/dy$  le gradient de vitesse ( $s^{-1}$ ) dans la direction normale  $y$ . Le terme viscosité sera utilisé par la suite, même s'il s'applique uniquement pour les fluides newtoniens.

## II.5. CLASSIFICATION DES FLUIDES : [6].

### II.5.1. Fluides newtoniens :

Pour un fluide newtonien, la viscosité dynamique  $\eta$  ne dépend pas du gradient de vitesse  $\dot{\gamma}$  et la viscosité a une signification physique égale à la consistance  $K$ . La viscosité dynamique s'exprime dans le système SI en Pa.s.

1 Pa.s = Poiseuille et 1 mPa.s = 1 c Poise (CGS)

Air à 20 °C :  $1.8 \cdot 10^{-2}$  mPa.s,

Eau à 20°C : 100 mPa.s

Huile d'olive :  $10^2$  mPa.s,

Glycérol : 1 Pa.s

Consistance pour les fluides anormaux :

Miel liquide : 10 Pa.s,

Polymères fondus 100 – 10000 Pa.s

Bitumes :  $10^8$  Pa.s,

Barbotine de coulage : 0.5 -5 Pa.s

rhé épaississant :  $n > 1$

binghamien :  $n = 1$

rhé fluidifiant :  $n < 1$

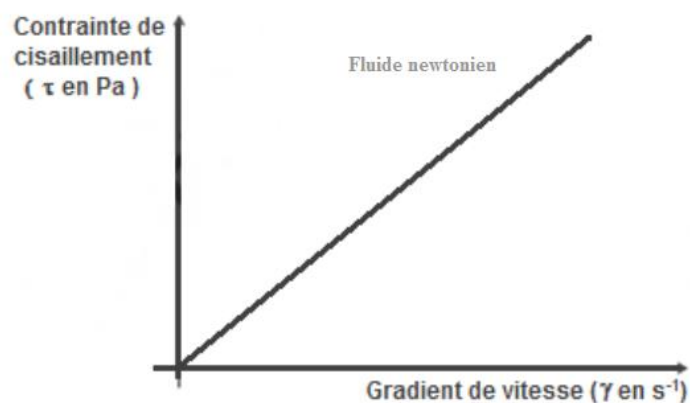


Figure II.7 : Courbe fluide newtonien.

### II.5.2. Fluides binghamiens ou plastiques :

Ce sont les plus simples des fluides anormaux par leur comportement rhéologique. Un fluide binghamien exige une pression minimale pour provoquer son écoulement.

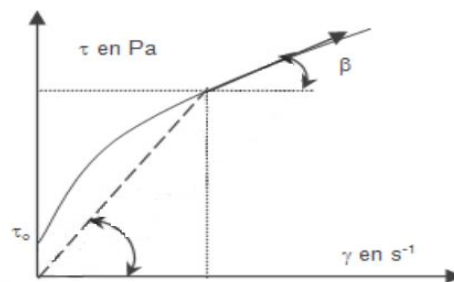
Pour des forces inférieures, il se comporte comme un solide (limite d'écoulement). Pour une tension de cisaillement à laquelle le fluide commence à s'écouler, il se comporte comme un fluide normal (sauf aux faibles gradients et au centre de l'écoulement où le fluide devient solide).

### II.5.3. Fluides rhé fluidifiants :

Le rapport  $\dot{\gamma}/\tau$  est représenté par la tangente a et le pseudo viscosité par la tangente b.

Elles sont décroissantes en fonction du gradient  $\dot{\gamma}$  et  $\tan(a) > \tan(b)$ .

Les fluides rhé fluidifiants ou pseudo plastiques, généralement, ne présentent pas de seuil d'écoulement ; la déformation commence dès qu'une contrainte est exercée. Ce comportement rhé fluidifiant est caractérisé par une diminution de la viscosité lorsque le gradient de vitesse augmente ou que la contrainte de cisaillement augmente.

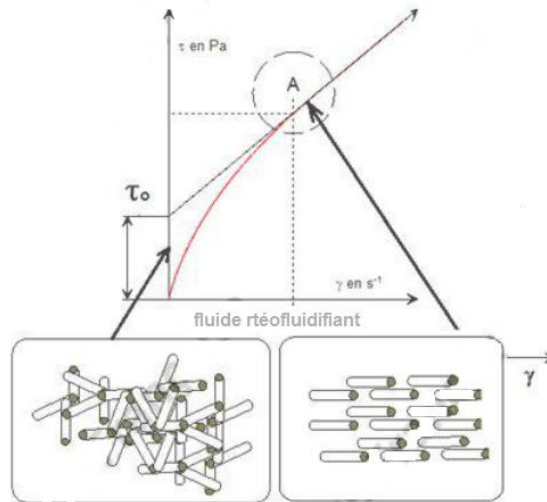


**Figure II.8 :** Courbe fluide rhé fluidifiant.

### II.5.4. Fluides pseudo plastiques ou rhé fluidifiants :

Généralement, les barbotines présentent une viscosité élevée au repos et diminuant quand l'agitation augmente, et après avoir atteint un certain seuil (A) la courbe est pratiquement une droite. De nombreuses barbotines présentent ce comportement, en particulier celles qui contiennent des montmorillonites (bentonites). Ces substances argileuses sont en général constituées de particules élémentaires en forme de disques ou de bâtonnets.

Il est admis, que les particules allongées ont tendance, au repos à s'agglomérer les unes aux autres, s'opposant ainsi au mouvement. Sous l'action d'une force de cisaillement les particules s'orientent progressivement et, à une certaine vitesse, correspondant au point A, elles sont toutes orientées dans le même sens d'écoulement, le phénomène est réversible.



**Figure II.9 :** Courbe fluides pseudo plastiques ou rhéofluidifiants.

### II.5.5. Fluides thixotropes : [14].

Tous les liquides étudiés précédemment ont une courbe rhéologique unique, ils sont parfaitement réversibles. Il n'en est pas de même pour des substances thixotropes, pour les quelles, la courbe ascendante ne se confond pas à celle à gradient descendant.

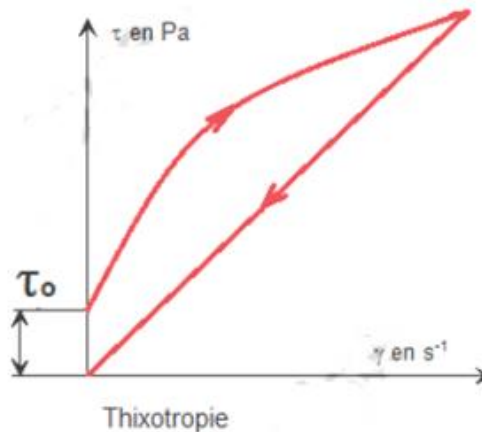
La thixotropie est un phénomène physique qui résulte de la non-instantanéité de la déstructuration de la texture par agitation et de réédification par le repos.

Le problème est complexe et difficile à chiffrer, parce qu'il dépend du passé rhéologique de l'échantillon et du mode expérimental de détermination. Il est difficile de reproduire un même contrôle sur un même échantillon puisque celui-ci aura ses caractéristiques changées par l'agitation préalable.

C'est donc la viscosité apparente qui est mesurée dans la pratique (ateliers de coulage), cette mesure n'a de sens que si l'expérience est toujours faite dans des conditions rigoureusement identiques, sur un échantillon de barbotine ayant absolument le même passé rhéologique.

Dans la pratique industrielle l'effet thixotropique est chiffré par deux constantes : l'une caractérise l'évolution de la viscosité en fonction du temps, l'autre l'évolution de la viscosité sous l'influence du gradient de vitesse.

Ainsi, la mesure de la viscosité apparente d'un échantillon est faite après agitation prolongée, puis après un temps de repos fixé arbitrairement d'après les conditions d'utilisation de la barbotine en atelier (un quart d'heure par exemple).



**Figure II.10 :** Courbe fluides thixotropes.

## II.6. STABILITE D'UNE SUSPRNSION ARGILEUSE :

Une suspension argileuse est constituée d'une multitude de ces particules élémentaires entourée de leur lyosphère. Chacune d'elle est sollicitée par deux forces antagonistes : d'une part, elles se repoussent mutuellement puisqu'elles sont chargées électriquement et d'autre part elles subissent les forces d'attraction moléculaires (force de Van der Waals). Ces deux forces doivent être équilibrées afin que les particules, en suspension, soient éloignées les unes des autres.

## II.7. LE PLATRE : [6].

### II.7.1. Exploitation des gisements :

Le gypse n'affleure que rarement à la surface du sol, il est toujours recouvert de stériles (argiles, sables, marnes, etc.).

On peut donc concevoir deux types d'exploitation ; une exploitation souterraine par le système de puits et galeries ou une exploitation à ciel ouvert après enlèvement du stérile.

#### a. Exploitation en galerie :

Elle a l'inconvénient majeur de faire perdre une grosse partie du gisement (environ 50%), de ne pas permettre l'utilisation d'engin puissant pour l'extraction et le transport, et d'interdire l'utilisation du sol pour la construction.

Elle a, cependant, l'avantage de distribuer en fabrication un gypse d'humidité faible sensiblement constant et jamais souillé par d'éventuelles coulées de stérile, entraîné par les eaux de ruissellement.

**b. Exploitation à ciel ouvert :**

Elle permet l'exploitation complète du gisement. Supprimant le relief, elle supprime du même coup le problème de l'utilisation du sol de couverture.

Elle est compatible avec l'utilisation des moyens modernes et puissants d'abattage, d'extraction et de transport.

Cependant, on livre avec ce genre d'exploitation un gypse d'humidité variable, risquant parfois d'être souillé par les argiles entraînées par les eaux de ruissellement.

La plupart du temps, la motivation du choix du type d'exploitation est liée au rapport de l'épaisseur de la couche de stériles, à l'épaisseur et à la capacité du gisement de gypse.

**II.7.2. Qualités du plâtre :**

**La régularité :** les plâtres à mouler font partie de la catégorie des plâtres industriels pour lesquels la notion de qualité est objective et faite d'indices de variation aussi faibles que possible.

Les critères indicateurs des utilisateurs seront les suivants :

**La régularité :** les plâtres à mouler font partie de la catégorie des plâtres industriels pour lesquels la notion de qualité est objective et faite d'indices de variation aussi faibles que possible.

Les critères indicateurs des utilisateurs seront les suivants :

**La coulabilité :** c'est l'aptitude d'un plâtre à épouser la forme d'un moule et le temps pendant lequel la pâte gardera cette aptitude.

**La vitesse de durcissement :** qui détermine le temps séparant la limite de coulabilité de la possibilité d'extraire le moule de la matrice.

**La stabilité dimensionnelle :** qui permettra de réduire au minimum les contraintes auxquelles sont soumis les moules mères (gonflement).

**La résistance mécanique :** limitant le nombre d'accidents survenant aux moules au cours des manipulations d'une part et conditionnant la résistance à l'usure d'autre part.

**La capacité d'absorption d'eau et la vitesse de diffusion de l'eau :** conditionnant la vitesse de prise et de ressuyage.

De la qualité du plâtre employé.



### II.7.3. Principe de la prise : [15].

Le phénomène de la prise du plâtre est en effet une cristallisation du semi hydrate en di hydrate ou pour simplifier le gypse ayant perdu son eau de cristallisation au cours de la cuisson retrouvera par ajout d'eau sa forme stable cristallisée. L'opération nommée prise peut être décomposée en deux phases principales :

- 1) La dissolution du semi hydrate dans l'eau : et à l'instant même réaction entre le sulfate en solution et l'eau (réaction exothermique).
- 2) Cristallisation du semi hydrate en di hydrate ; cette cristallisation est très rapide, car le di hydrate se dissout 4 fois moins que le semi-hydrate saturant ainsi rapidement la solution.

Les cristaux produits, en forme d'aiguilles s'enchevêtrèrent, et par leur croissance dans toutes les directions formeront une texture poreuse. La cohésion que donne cette imbrication sera d'autant plus forte que les cristaux seront fins et allongés.

Ce que l'on appellera le début de la prise couteau correspondant au début de rigidité de la masse traduit la formation de 5 à 10% de double hydrate. Le début de prise sera traduit par l'essai de la prise couteau et sera déterminé lorsque le passage d'une lame de 2cm de haut et 2mm d'épaisseur provoque une coupure dans la masse de plâtre frais qui ne se referme qu'incomplètement.

La prise sera accompagnée d'une augmentation de la température de la masse ainsi que d'un phénomène d'expansion de volume. La température s'élèvera en fin de prise entre 35 et 40°C.

Et l'augmentation définitive du volume se situera entre 0,2 et 0,4% après séchage, cependant on constate une légère contraction du plâtre juste après le début de prise, ce qui permet, si la solidité du plâtre l'autorise, le démoulage des chapes, alors que le gonflement maximum en fin de prise permettra le démoulage des noyaux.