



Moulage en Plâtre (pour coulage et estampage)

Semaine 2020.44

Sommaire

Origine	2
Qualités du plâtre	6
Adjuvants	7
Raisons de faire un moule, objectif	8
Quantités à préparer	10
1) Volume de plâtre liquide à préparer	10
2) Calculer le poids d'eau nécessaire	11
3) Quantité de plâtre en poudre à gâcher	11
4) Préparer/gâcher le plâtre	12
5) Couler le plâtre.....	12
Actions influençant la prise du plâtre	13
Processus de création d'un moule.....	13
Points communs à tous les coulages/coffrages pour faire des moules en plâtre.....	16
Produits à connaître	17
Finitions	17
Bibliographie	18



Origine

Dans le domaine du moulage, le plâtre est un matériau familier.

Pour les applications artistiques et dans le staff, on parle de plâtre de moulage, plâtre fin, plâtre spécial ou plâtre de Paris (qui est devenu synonyme de plâtre de moulage dans de nombreux pays). L'utilisateur de cette poudre blanche se rend vite compte qu'il existe en fait une grande variété de plâtres dits « de moulage » et que cet ensemble de plâtres spéciaux permet un grand nombre d'applications fort diverses. Parmi celles-ci :

- le moulage artistique et le staff
- les applications dentaires
- la fonderie
- la céramique
- les applications médicales

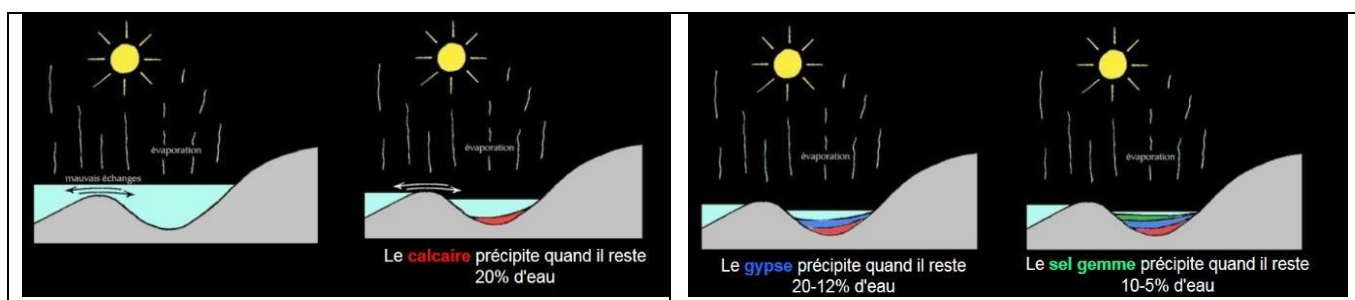
Tous ces plâtres contiennent le même produit de base, le sulfate de calcium CaSO_4 .

Le **gypse** et le plâtre désignent différentes formes de CaSO_4 plus ou moins hydratées, chaque fabricant pouvant y apporter des modifications, soit au niveau du procédé de fabrication, soit par ajout de petites quantités d'additifs. Cette utilisation d'adjuvants, ainsi que les procédés de cuisson et de broyage du plâtre, sont passés du stade de la recette (secret de famille) à une science plus ou moins exacte.

Dans le cas du staff par exemple (matériau de construction préfabriqué à base de plâtre armé de fibres), la recette consistait en l'utilisation de fibres végétales d'abord, puis des fibres de verre, et plus récemment des associations ternaires [plâtre, fibres, résines synthétiques].

A l'origine est le gypse. Il fait partie de la famille des roches hydrochimiques ou évaporites qui se forment à partir de saumures ayant atteint leur point de saturation. Lorsque l'eau d'une lagune ou d'un marais salant s'évapore sous l'action du soleil, des sels peuvent précipiter (tomber au fond de l'eau). L'eau de mer contient 35 g/l de sels dissous, soit :

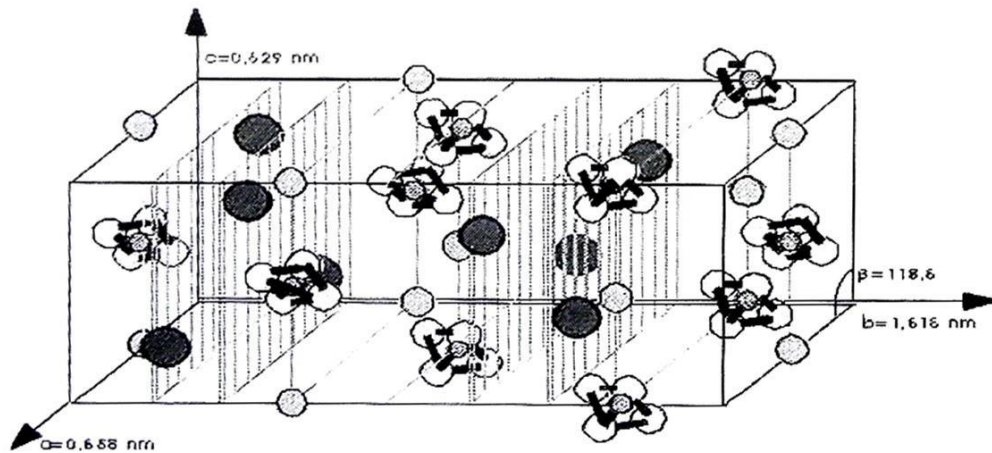
- | | |
|--|-------|
| • NaCl, sel gemme (cuisine) | 78% |
| • Sels de Mg et K | 18% |
| • CaSO_4 , gypse et anhydrite | 3,6% |
| • CaCO_3 , calcaire | 0,4 % |



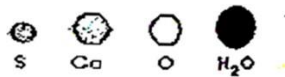
Le gypse a pour formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ou sulfate de calcium dihydraté. Cela signifie qu'il contient dans son réseau cristallin 2 molécules d'eau. Le gypse est une structure feuilletée présentant une alternance de couches d'eau et de sulfate de calcium :

Réseau cristallin du gypse :

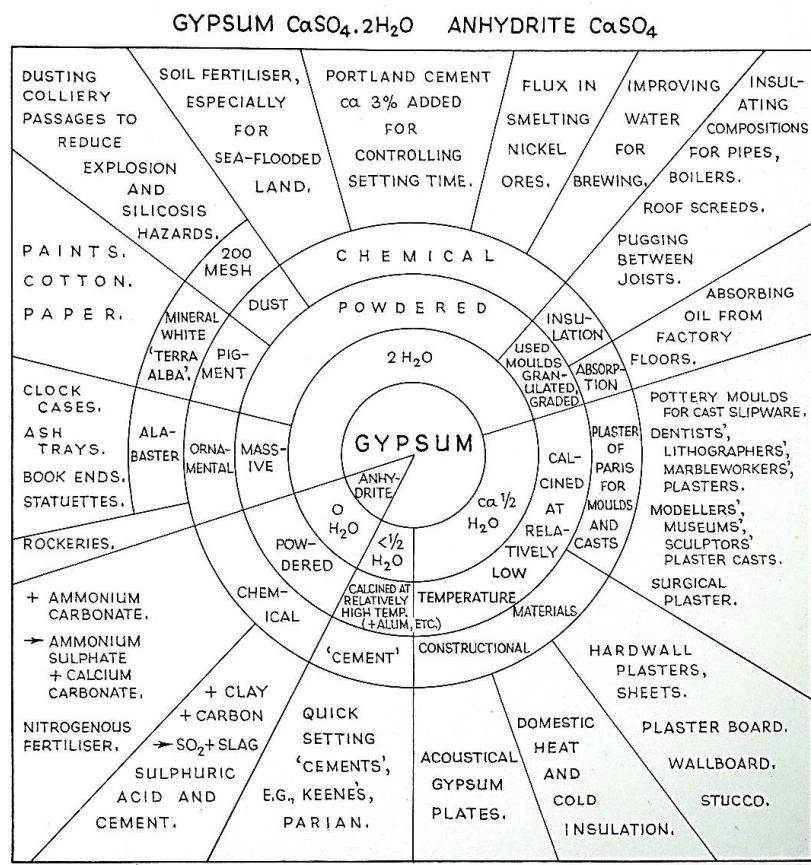
Maille élémentaire :



Molécules :



Le gypse, une matière PREMIERE :



On peut retirer au gypse (**D**ihydrate DH) une partie de son eau de cristallisation et le transformer en **s**emi**h**ydrate (SH), ou plâtre de formule $\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$.



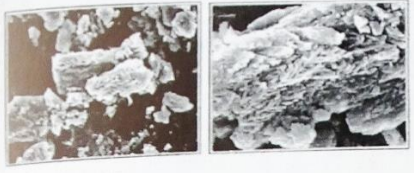
Mélangé à de l'eau, le plâtre se réhydrate et durcit (c'est ce qu'on appelle la prise du plâtre) et reforme le gypse de départ.



Il existe 2 procédés de **cuisson** différents :

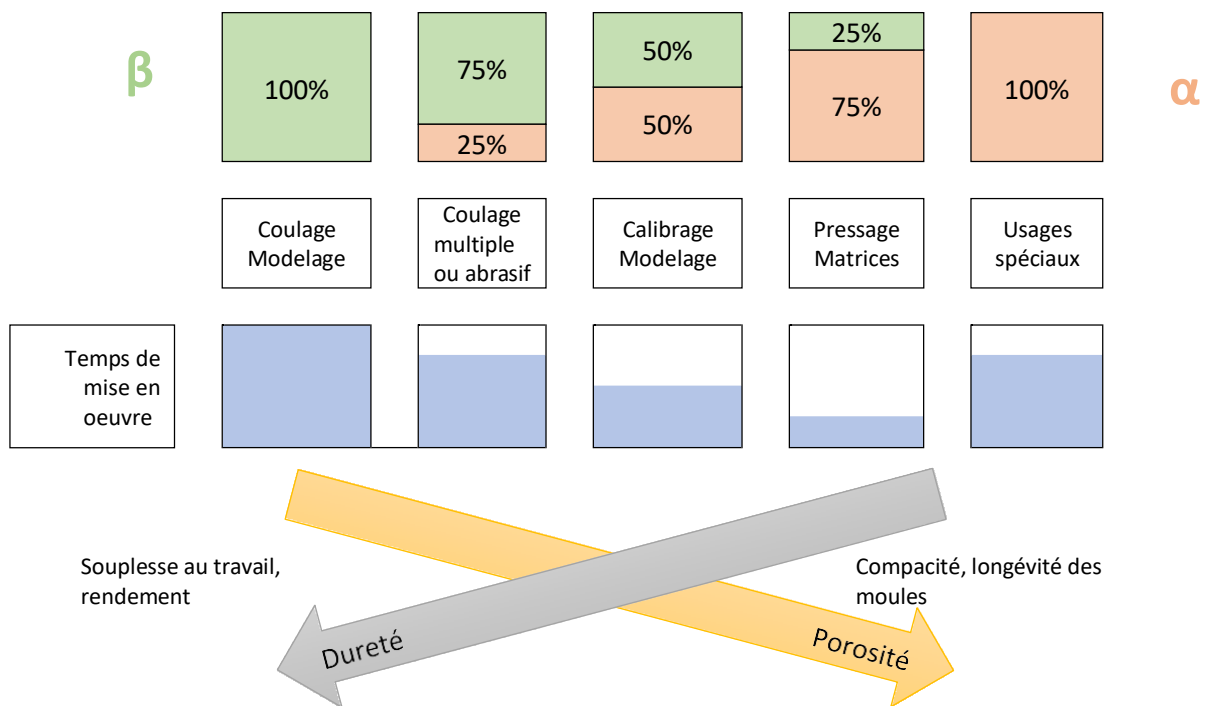
- par **voie sèche**
→ il consiste à cuire le dihydrate à une température voisine de 150°C sous pression atmosphérique (fours rotatifs, fours marmites, ...)
- par **voie humide**
→ apparu à partir des années 1930, le gypse est cuit sous pression de vapeur d'eau de 2 à 8 bars (avec parfois des agents chimiques modificateurs de cristallisation). Ce mode de cuisson est effectué en autoclaves. Le coût de production est plus élevé, et est peu répandu, mais il est à l'origine des plâtres de moulage de grande dureté.

Les plâtres obtenus par ces 2 procédés ont la même structure chimique, mais les cristaux ont des textures différentes :

	semihydrate bêta	semihydrate alpha
Origine	Cuisson sèche	Cuisson humide
Structure	• agrégats de microcristaux ressemblant à des éponges de forme relativement irrégulière • Forte porosité • surface spécifique élevée	• Cristaux réguliers • faible porosité • surface spécifique faible
Aperçu au microscope électronique		
Hydratation (théorique)	$\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O} + 1,5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	
	$\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O} + 6,7 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 5,2 \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O} + 2,7 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 1,2 \text{H}_2\text{O}$
Gâchage		
Structure après prise		
Conclusion	L'excès d'eau par rapport à la théorie est important. Lors du séchage, l'élimination de cette eau en excès est à l'origine d'une porosité importante qui explique la faible résistance mécanique de ce type de plâtre.	L'excédent d'eau est faible, ce qui entraîne une faible porosité une fois le plâtre séché et une résistance mécanique élevée.

(Le plâtre, l'art et la matière)

Les fabricants de plâtre peuvent proposer des formules mixant les 2 types de semihydrates :



Qualités du plâtre

Les caractéristiques propres au matériau :

- les qualités du gypse, sa pureté
- les proportions de semihydrate alpha et bêta
- la cuisson et son homogénéité
- la dimension des grains et leur répartition granulométrique
- éventuellement l'adjonction d'adjuvants

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.
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.
Vitesse de durcissement	Détermine le temps séparant la limite de coulabilité de la possibilité d'extraire le moule de la matrice.
Stabilité dimensionnelle	Permet de réduire au minimum les contraintes auxquelles sont soumis les moules mères (ex : gonflement).
Résistance mécanique	Limite le nombre d'accidents survenant aux moules au cours des manipulations d'une part et conditionnant la résistance à l'usure d'autre part.
Capacité d'absorption d'eau et vitesse de diffusion de l'eau	Conditionne la vitesse de prise et de ressuyage.

Les facteurs 'utilisateurs' ayant trait à la maîtrise de fabrication du plâtre :

- qualité du plâtre employé (stockage/ancienneté)
- nature et température de l'eau
- rapport plâtre / eau
- organe d'agitation
- vitesse d'agitation
- durée d'agitation
- temps de repos avant coulage
- séchage après la prise

Adjuvants

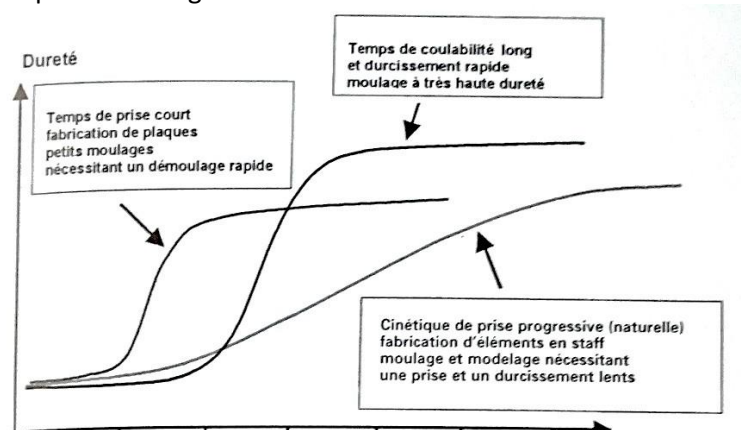
Divers produits peuvent agir sur l'accélération ou la diminution de la vitesse de prise en fonction de leur concentration. Ils peuvent agir en modifiant la solubilité du plâtre dans l'eau (les produits diminuant la solubilité sont des retardateurs et ceux l'augmentant sont des accélérateurs), en favorisant la naissance de germes cristallins, ou en modifiant le développement, la forme, le groupement des cristaux :

Accélérateurs	sulfate d'aluminium / de magnésium / de potassium / de sodium (accélérateur en faibles doses et retardateurs au-delà) nitrates, bromures, iodures chlorures alcalins et d'ammonium (le chlorure de sodium est accélérateur jusqu'à 5% et retardateur au-delà). acides sulfurique, chlorhydrique, nitrique	
Retardateurs	substances organiques d'un poids moléculaire élevé, agissant comme colloïdes protecteurs	colle, gélatine, gomme arabique, caséine ... → ces substances donnent en outre des plâtres très durs après séchage, mais aux dépens de leur porosité.
	substances diminuant la solubilité du plâtre dans l'eau	alcool glycérine sucre acétone acide citrique / borique / lactique / acétique / phosphorique
	substances modifiant la structure cristalline du plâtre	acétate de calcium carbonate de calcium

A l'échelle de l'utilisateur, les points de repère sont les suivants :

- Le temps ouvert, ou limite de coulabilité : c'est le temps pendant lequel le mélange plâtre-eau peut être mis en place pour lui donner la forme voulue
- Le début de prise : le mélange devient visqueux, jusqu'à devenir solide
- La fin de prise : s'accompagne d'un échauffement qui accompagne la réaction chimique d'hydratation
- Le temps de démoulage

Adaptation du type de plâtre à l'usage souhaité :



Plâtres courants (données des fiches techniques) :

	Molda 3	MC6
Type	Plâtre non formulé	Plâtre formulé
Usage	- éléments décoratifs - applications de moulage	- éléments décoratifs - moules pour coulage de vaisselle, adapté à un double usage quotidien - moules de calibrage
Composition	$\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$
Pureté minimale en gypse	91%	91%
Temps de mélange	2 à 4 min	2 à 4 min
Début de prise	17 min	9 min
Fin de prise	39 min	14 min
Expansion linéaire	0,19 %	0,2 %
	rapport plâtre/eau recommandé : entre 1,40/1 et 1,60/1	

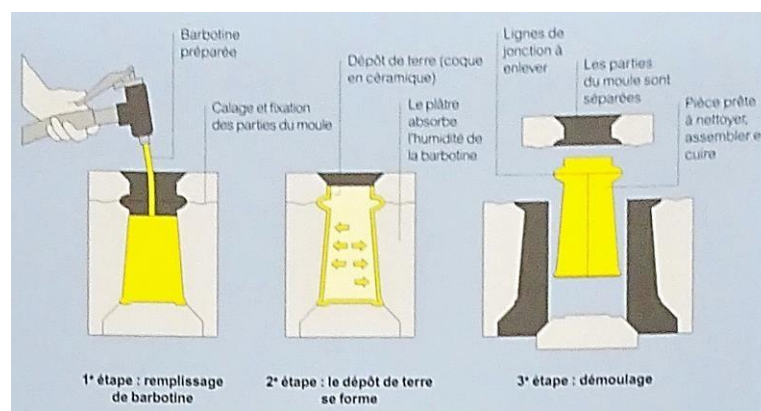
L'expansion : pendant la prise, le plâtre subit une expansion. L'avantage étant que cela favorise un excellent contact entre le plâtre et son moule. L'inconvénient est que cela induit des contraintes mécaniques sur le moule et/ou sur la pièce à mouler.

Raisons de faire un moule, objectif

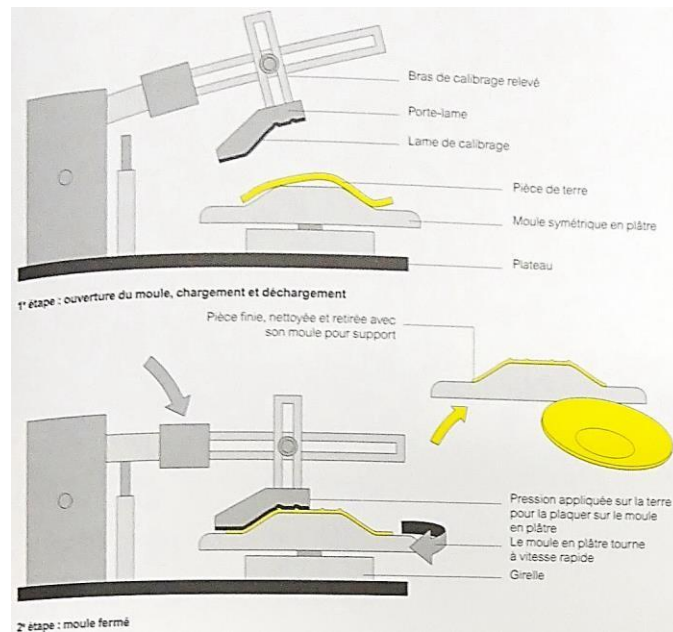
- gagner du temps sur des productions de petites séries
- reproduire un même motif à l'identique
- automatiser une forme de base se concentrer sur les décors
- déléguer une étape de mise en forme à un ouvrier. Stagiaire
- ...

Le moule sera conçu de manière différente selon que l'on souhaite faire du coulage ou de l'estampage.

- **Coulage** : le moule doit être fermé, de manière à pouvoir y couler une barbotine liquide. L'excédent sera retiré après un temps de prise et la partie intérieure sera donnée par le vidage.
→ par exemple pour des pièces très complexes ou pour un résultat très fin

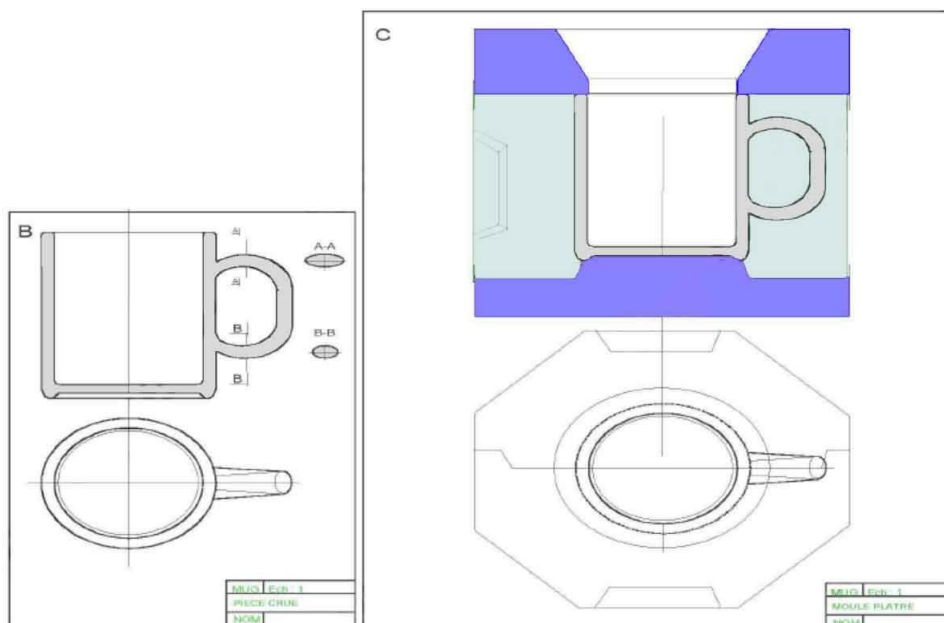


- **Estampage/Calibrage** : la terre est façonnée à la main, pressée contre les parois du moule.
→ par exemple pour des pièces de dimensions importantes ou très épaisses



La phase de conception du moule est essentielle. C'est elle qui déterminera les étapes ultérieures. Prendre le temps de se faire un schéma ou un croquis simple avant de se lancer dans un moulage.

Exemple :



Quantités à préparer

1) Volume de plâtre liquide à préparer

Avant de préparer la gâche, il faut évaluer le volume de plâtre nécessaire.

On partira généralement d'approximations en ramenant la pièce à mouler comme le moule à des formes simples.

Le volume de plâtre à préparer correspond à la différence du volume de la surface extérieure du moule par le volume de la pièce.

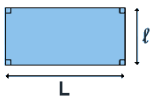
Par exemple : si on fait un coffrage cylindrique autour d'une forme sphérique, le volume de plâtre nécessaire sera égal à :

$$\text{volume du cylindre (coffrage)} - \text{volume de la sphère (approx. du modèle)}$$

Formules pour des formes simples :

AIRES

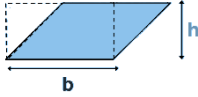
RECTANGLE


$$A = L \times l$$

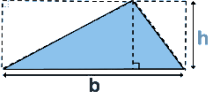
CARRE


$$A = c \times c = c^2$$

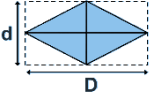
PARALLELOGRAMME


$$A = b \times h$$

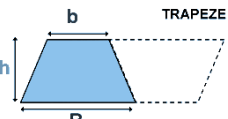
TRIANGLES


$$A = \frac{b \times h}{2}$$

LOSANGE


$$A = \frac{D \times d}{2}$$

TRAPEZE

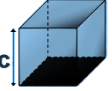

$$A = \frac{(B + b) \times h}{2}$$

CERCLE - DISQUE

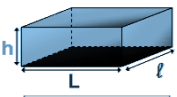

$$P = 2\pi r$$
$$A = \pi r^2$$

VOLUMES

CUBE


$$V = c \times c \times c = c^3$$

PARALLELEPIPEDE RECTANGLE


$$V = L \times l \times h$$

PRISME DROIT


$$V = A_{\text{Base}} \times h$$

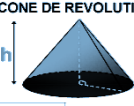
CYLINDRE DE REVOLUTION


$$V = A_{\text{Base}} \times h$$

PYRAMIDE


$$V = \frac{A_{\text{Base}} \times h}{3}$$

CONE DE REVOLUTION


$$V = \frac{A_{\text{Base}} \times h}{3}$$

SPHERE-BOULE


$$A = 4\pi r^2$$
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

ATTENTION :

- Faire les calculs avec les mêmes unités (par exemple : tout en cm)
- Convertir le volume en litres (1 l = 1000 cm³)

Si on est réfractaire aux calculs, on peut utiliser une méthode plus empirique :

- Verser dans l'espace à remplir une matière solide fluide, par exemple du riz
- Mesurer le volume de riz (par exemple avec une éprouvette de 1 l)

En raison de variabilités entre les plâtres, il peut y avoir une insuffisance de la quantité de plâtre gâché. Corriger en majorant le volume de quelques pourcents.

2) Calculer le poids d'eau nécessaire

Le poids d'eau nécessaire est généralement égal à 2/3 du volume à remplir
(multiplier le volume calculé par 0,66666)

3) Quantité de plâtre en poudre à gâcher

En fonction de la dureté du plâtre voulu, multiplier le volume d'eau par le coefficient approprié. Pour un plâtre normal : peser 1,3 x le volume d'eau en plâtre pour le gâchage. Pour du plâtre dur, ajouter 1,8 x le volume d'eau.

Exemple :

- Soit un volume de 9L à remplir
 - ➔ On utilisera 6L d'eau $9 \times 2/3 = 6$
 - ➔ On utilisera 7,8kg de plâtre $6 \times 1,3 = 7,8$

Coefficients plâtre/eau en fonction de l'usage souhaité :

Eau	Normal	Dur	Spec. ent. 2 plâtres	Pressage
1	1,3	1,8	1,6	2,5
2	2,6	3,6	3,2	5,0
3	3,9	5,4	4,8	7,5
4	5,2	7,2	6,4	10,0
5	6,5	9,0	8,0	12,5
10	13,0	18,0	16,0	25,0

(C.O.D. Plâtre)

« à fleur d'eau » :

Cette méthode consiste à délayer le plâtre dans le volume d'eau prédéterminé jusqu'à ce que celui-ci ne se dissolve plus et que reste une pellicule de plâtre en poudre à fleur d'eau.

Cela indique que le mélange est saturé et que la quantité de plâtre ainsi utilisée est suffisante.

/!\ il faut être patient et ne pas précipiter les choses.



4) Préparer/gâcher le plâtre

Les ustensiles de mélange doivent toujours être propres et exempts de plâtre pris.

Verser l'eau dans un récipient pouvant contenir 2x le volume prévu.

Saupoudrez lentement la quantité pesée de plâtre sur toute la surface de l'eau et laissez le plâtre s'imprégner et se débuller.

Agiter énergiquement le plâtre (3 à 8 minutes selon les plâtres)

Faire remonter les bulles en agitant à la main à plat dans le fond du récipient.

Retirer les bulles d'air avec une cuiller, ou les éclater contre la paroi du récipient.

/!\ IMPORTANT /!

Ne Pas mélanger deux gâchées de plâtres différentes !

Prévoir plutôt plus de plâtre que nécessaire (se constituer une marge)

Ne Pas rajouter d'eau dans le plâtre ! (ça le tuerait)

Ne Pas mettre une main humide dans le sac de plâtre ! (ça amorcerait une réaction)

Ne Pas verser les résidus de plâtre (solides, liquides, eau blanche) dans les canalisations

Ne Pas laver les plaques de coffrage, pinceaux, seaux, ... avec de l'eau mais au savon noir

Toujours re-mélanger le plâtre avant de le verser pour l'homogénéiser et réincorporer l'eau montée en surface. Sinon la densité de plâtre sera inégale et cela se répercutera sur le modèle en terre.

5) Couler le plâtre

Eviter de le couler trop tôt : les particules se retrouveront au fond, et l'eau en surface
ou trop tard : trop épais, il risque de ne pas prendre l'empreinte

Couler doucement au point le plus bas. Ne pas hésiter à s'aider d'un ustensile ou un bec verseur, et laisser couler le plâtre (se rapprocher du modèle pour en prendre les contours)

Egaliser le niveau : en tapotant le plâtre avec le dos de la main, ou en arasant avec une règle.

S'il devait manquer du plâtre :

- Rabattre le plâtre des zones en sur-épaisseur dès qu'il commence à prendre
- Bien griffer la surface
- Savonner très légèrement ou mouiller abondamment (pour réduire la porosité du support)
- Préparer et couler ce qui manque

Actions influençant la prise du plâtre :

La prise est **accélérée** par :

- L'augmentation du temps d'agitation (= moins de temps pour couler)
 - Le surdosage (mélange pâteux)
 - L'eau légèrement tiédie
 - Une agitation en plus à la main pour faire remonter les bulles d'air (en plus d'un mélange à l'agitateur au bout d'une perceuse)
 - La présence de plâtre déjà pris sur les ustensiles (mélangeur, seau, eau, ...)
- Et la somme de tous ces phénomènes ($\Leftrightarrow$ plâtre plus dur)

La prise est **retardée** par :

- La réduction du temps d'agitation (utile pour mouler des reliefs ou couler plusieurs éléments)
- Le sous-dosage (très liquide ... attention aux fuites !!)
- L'eau un peu froide

Et la somme de tous ces phénomènes ($\Leftrightarrow$ plâtre plus tendre)

Une eau trop chaude ou trop froide peut complètement stopper la prise (la vitesse de prise augmentera jusqu'à 40°C pour s'annuler vers 70°C)

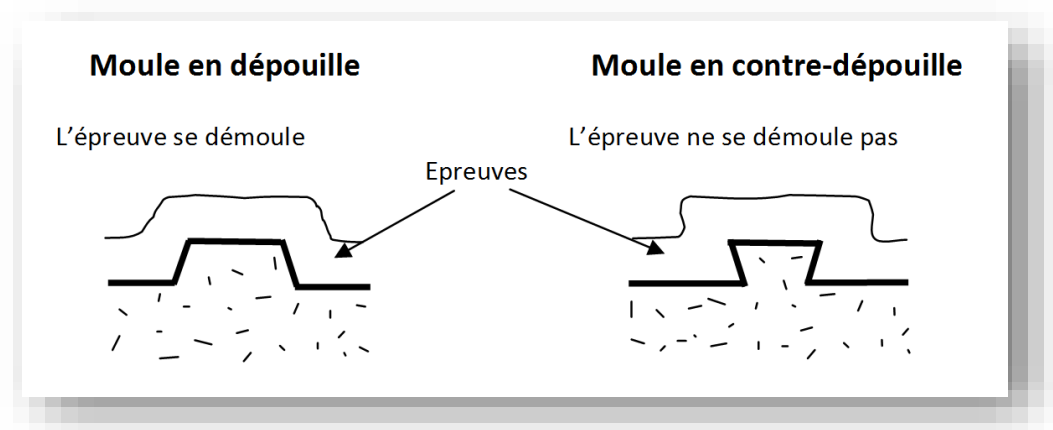
Un plâtre vieux peut également nécessiter un surdosage et une agitation plus longue.

Processus de création d'un moule

Il existe une grande variété de techniques, selon l'objet que l'on va mouler.

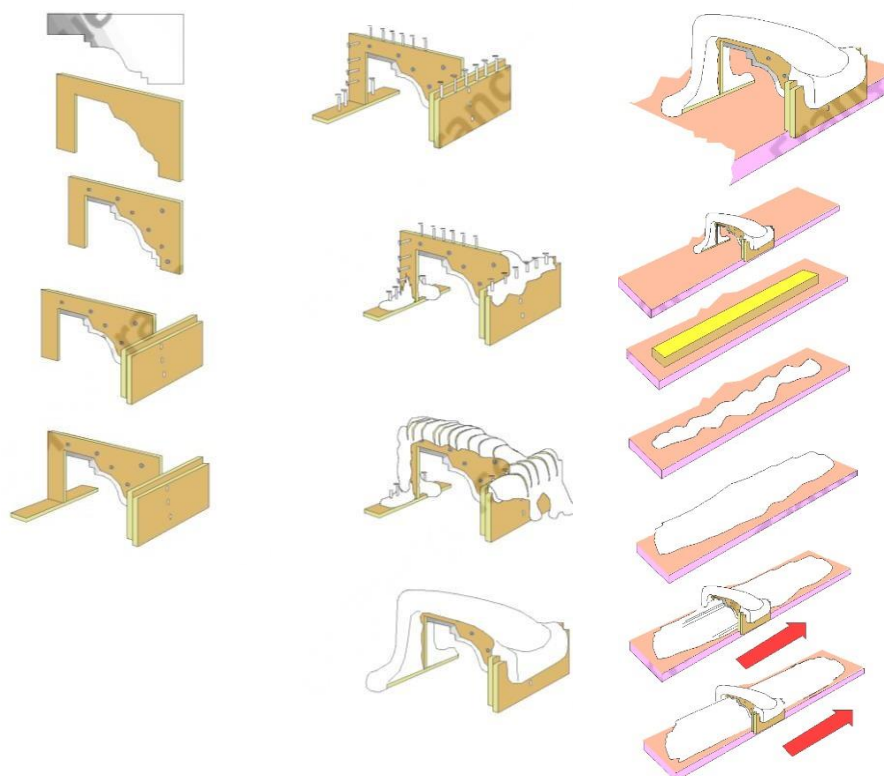
Cours distribué en amont du stage
+ Parcours du livre **C.O.D. Plâtre**

S'il est une seule chose à retenir dans la conception d'un moule en plâtre :

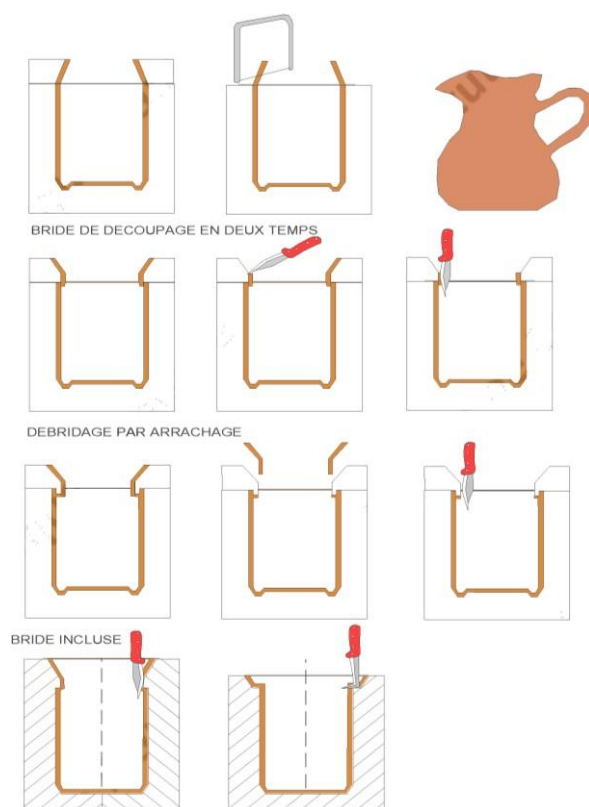


Exemples :

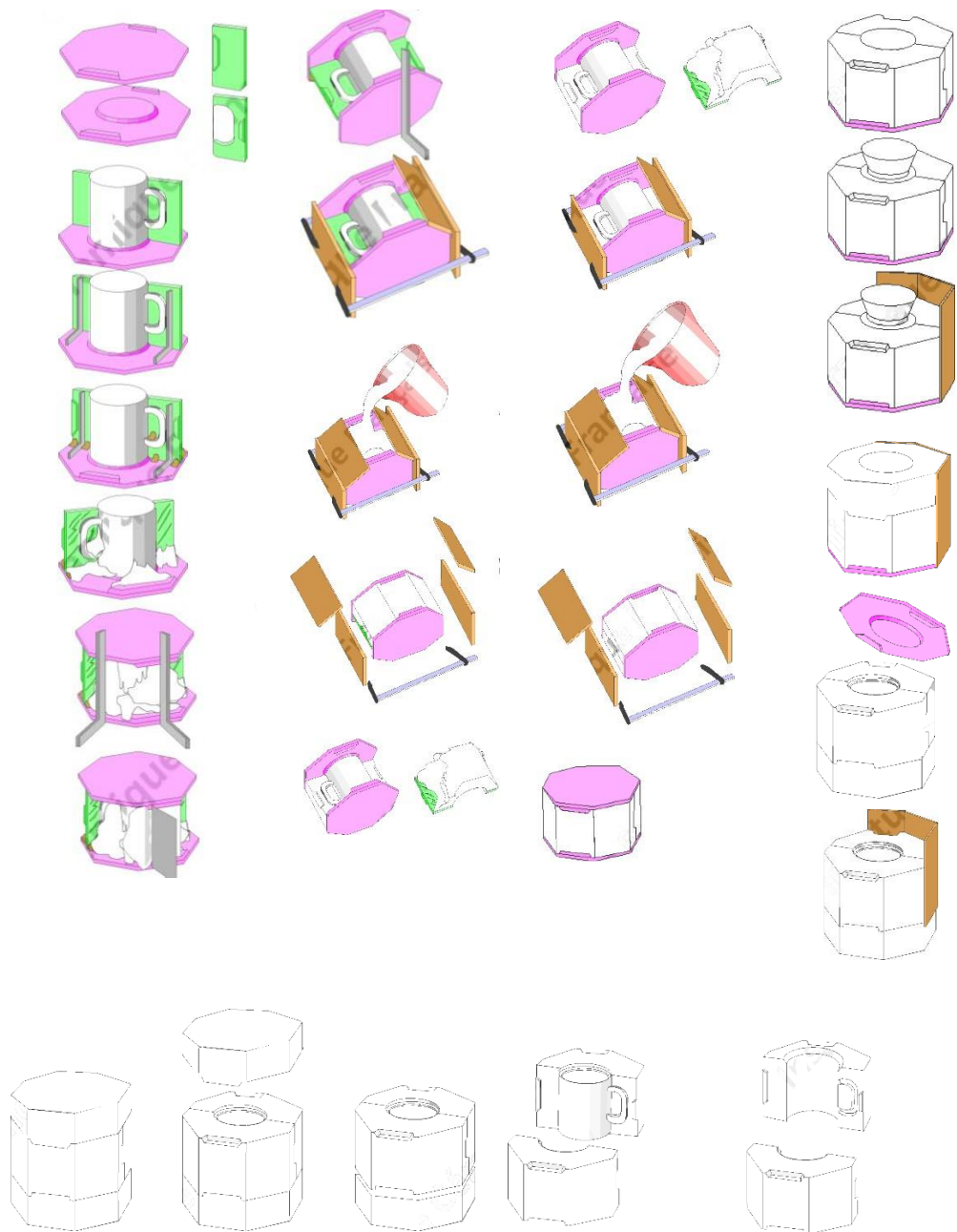
Trainage



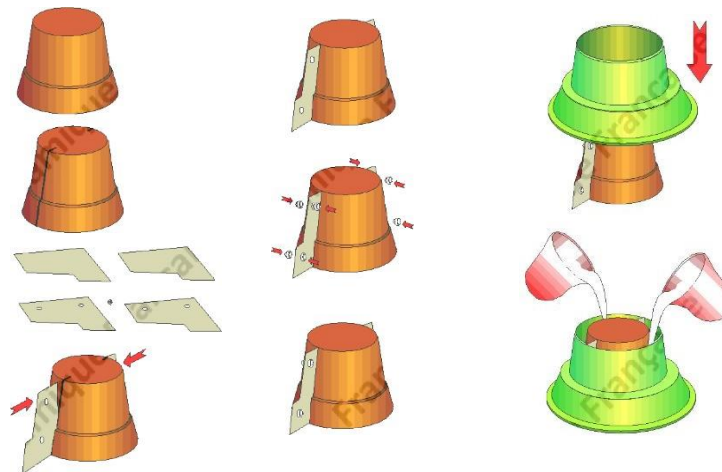
Différents types de brides (pour moules de coulage)



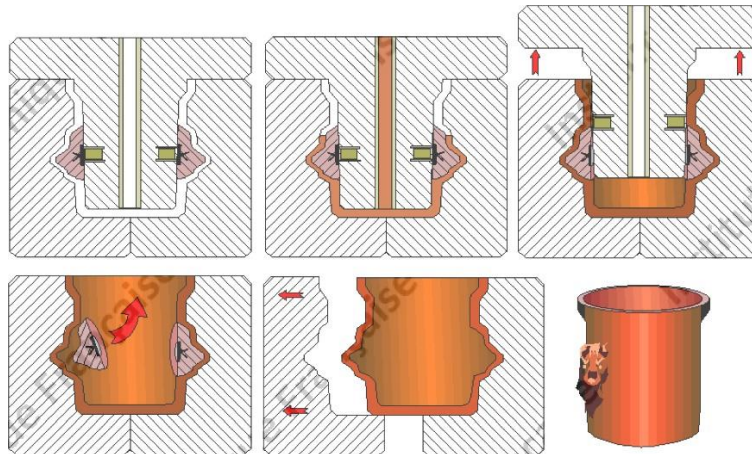
Coffrage hexagonal



Moule de calibrage



Moule à aimants



Points communs à tous les coulages/coffrages pour faire des moules en plâtre :

TOUJOURS

- savonner (« de généreux à dégoulinant ») et désavonner avant de couler le plâtre
→ savon noir et huile (lin/olive), ou autre agent isolant
- vérifier l'étanchéité et la solidité du coffrage (intérieure et extérieure → colombins)
- ne pas hésiter à recontrôler toutes les étapes avant le coulage
- créer de PETITES vibrations pour évacuer d'éventuelles bulles d'air (attention à ne pas fragiliser le coffrage avec les vibrations !)
- → ANTICIPER ←
- Découffrer quand le plâtre a pris (échauffement), sauf exception (ex : éclatement au fil)
- En cas de moule en plusieurs parties : surfacier les plans de joint intermédiaires
- Prévoir les assemblages futurs (tenons)