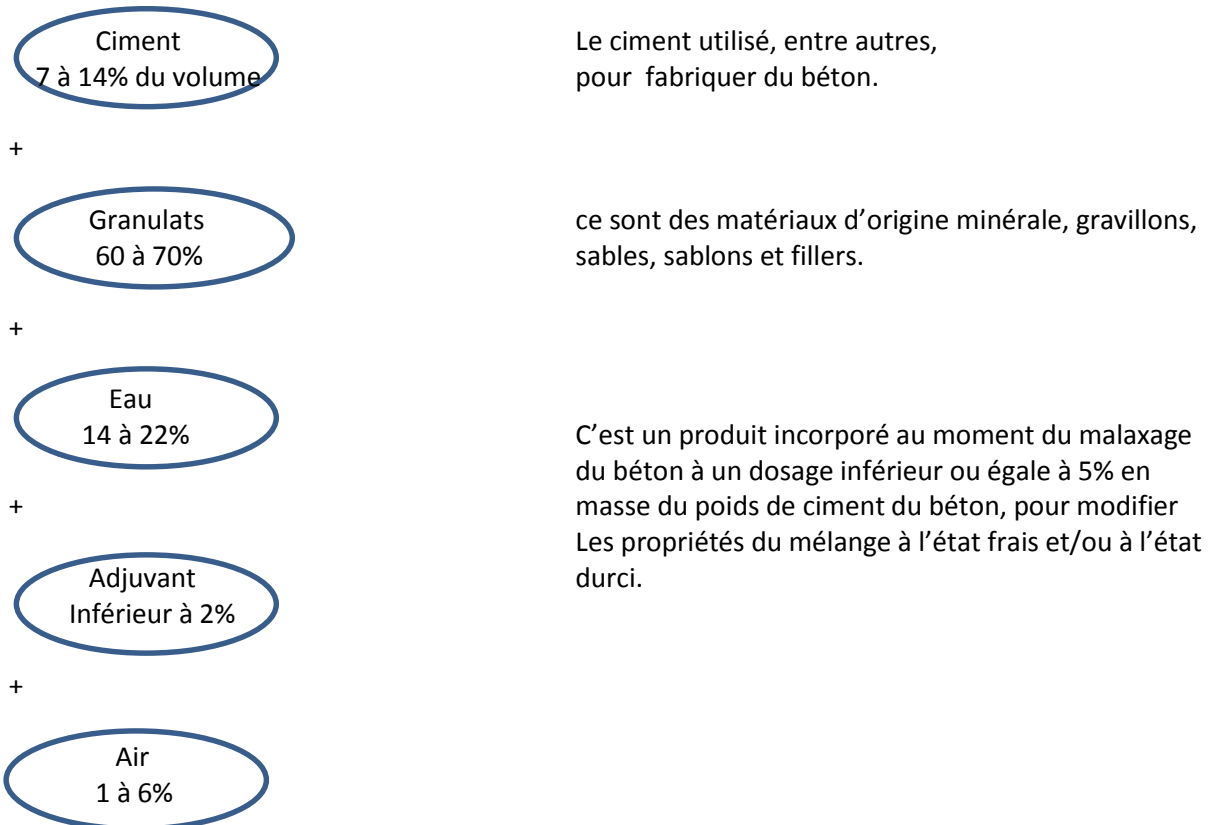


Le Ciment

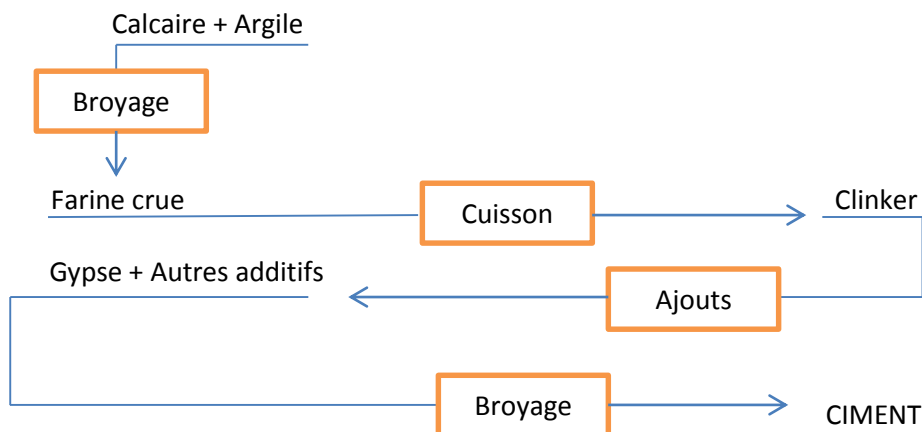
Le ciment est une poudre minérale, dont la propriété est de durcir sous l'eau. De ce fait, le ciment est appelé liant hydraulique.

Le durcissement du ciment dépend de sa réaction chimique avec l'eau.

Introduction :



Processus de Fabrication :



I. Matières premières :

Argile / Calcaire

Nom chimique	Symbole chimique	Nom minéralogique	Notation
Oxyde de silicium	SiO ₂	Silice	S
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	Alumine	A
Oxyde ferrique	Fe ₂ O ₃	Oxyde de fer	F
Oxyde de calcium	CaO	Chaux	C
Anhydride sulfurique*	SO ₃	Sulfate	\bar{S}
Eau	H ₂ O	Eau	H
Dioxyde de carbone	CO ₂	Dioxyde de carbone	\bar{C}
Oxyde de magnésium	MgO	Oxyde de Mg	M
Oxyde de sodium	Na ₂ O	Oxyde de Na	N
Oxyde de potassium	K ₂ O	Oxyde de K	K
Oxyde de Lithium	Li ₂ O	Oxyde de Li	L
Anhydride phosphorique	P ₂ O ₅	Oxyde de P	P

Tableau 1 : convention utilisées (langage des cimentiers)

Les Calcaires : les calcaires sont constitués, principalement, de carbonate de calcium (muni 90% de CaCO₃=, qui se présente sous forme de calcite ou d'argonite. C'est un carbonate souvent double de Ca et Mg de formule : [Ca, Mg] (CO₃)₂

Exemple de composition d'un calcaire

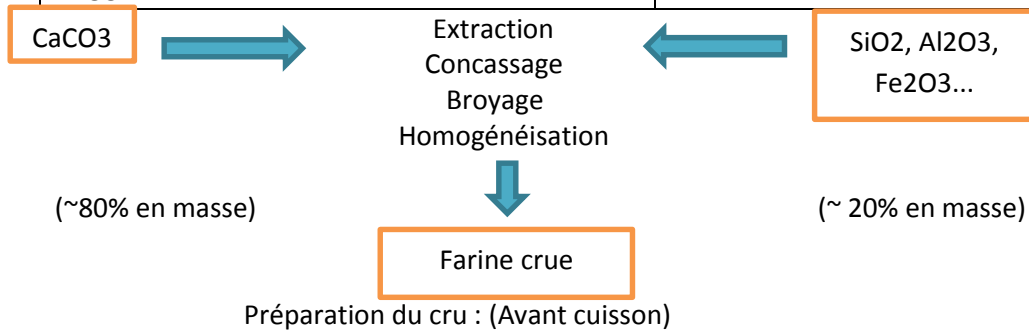
Naturel	Calcaire
PF	41,4
SiO ₂	4,5
Al ₂ O ₃	1,0
Fe ₂ O ₃	0,5
MnO	
TiO ₂	0,1
CaO	51,0
MgO	0,7
SO ₃	0,1
K ₂ O	0,4
Na ₂ O	0,05
P ₂ O ₅	

Les Argiles : sont formées essentiellement de silicate d'alumine et de fer avec des teneurs variables en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃

Exemple d'une composition d'une argile

	Argiles
PF	14,7
SiO ₂	46,2
Al ₂ O ₃	16,9
Fe ₂ O ₃	4,8
MnO	
TiO ₂	0,8
CaO	7,7
MgO	2,7

SO3	0,2
K2O	4,5
Na2O	0,4
P2O3	



Composition du cru :

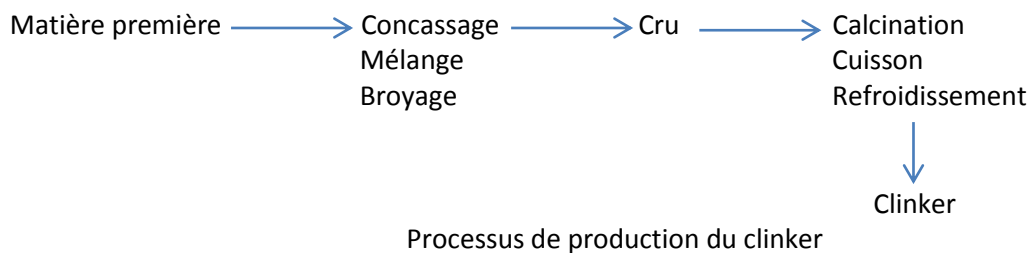
La composition du cru reste dans des proportions bien définies :

Carbonate de calcium (CaCO₃) : de 77 à 83%

Silice (SiO₂) : de 13 à 14%

Alumine (Al₂O₃) : de 2 à 4%

Oxyde ferrique (Fe₂O₃) : de 1,5 à 3%



* **Cuisson du clinker** : les matières premières du clinker subissent dans le four les transformations suivantes :

-100°C : évaporation de l'eau (Endothermique)

-500°C et plus : déshydratation des argiles (Endothermique)

-900°C : cristallisation des argiles (Exothermique)

Décomposition du CaCO₃ (Endothermique)

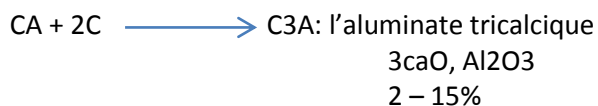
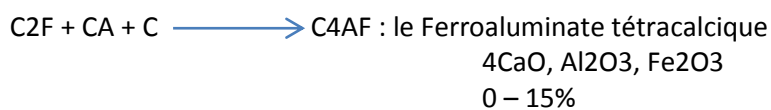
-900°C à 1200°C : réaction de CaO avec les aluminosilicates (Exothermique)

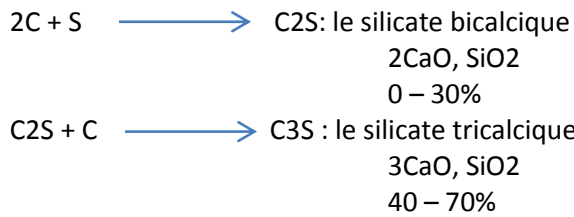
-1250°C à 1280°C : début de la phase liquide (Endothermique)

-1280°C et plus : augmentation de la phase liquide et formation des silicates et des aluminates de calcium.

Il est constitué par les nouvelles espèces formées au cours des réactions chimiques qui produisent lors de la cuisson du cru dans un four à haute température (1450°C – 1500°C). Les composés définis trouvés ainsi dans le clinker prêt au broyage sont essentiellement C3S, C2S, C3A, C4AF.

Il est nécessaire d'atteindre une température de 1450°C pour que la formation de C3S soit la plus complète possible, et ceci en un temps le plus bref possible.





A partir de 1000°C le C₂S et le C₃A se forment au dépend de la chaux libre C et de CS et CA préalablement combinés.

Les réactions de Clinkérisation se produisent par cuisson des matières à très hautes températures, 1250-1450°C, et conduisent à la formation des minéraux artificiels constituant le clinker.

A 1320-1380°C, une phase liquide apparaît au sein de la charge en cours de cuisson. La formation de C₃S commence à cette température. C'est le phénomène de Clinkérisation.

Il est nécessaire d'atteindre une température de 1450°C pour que la formation de C₃S soit la plus complète possible, et ceci en un temps le plus bref possible.

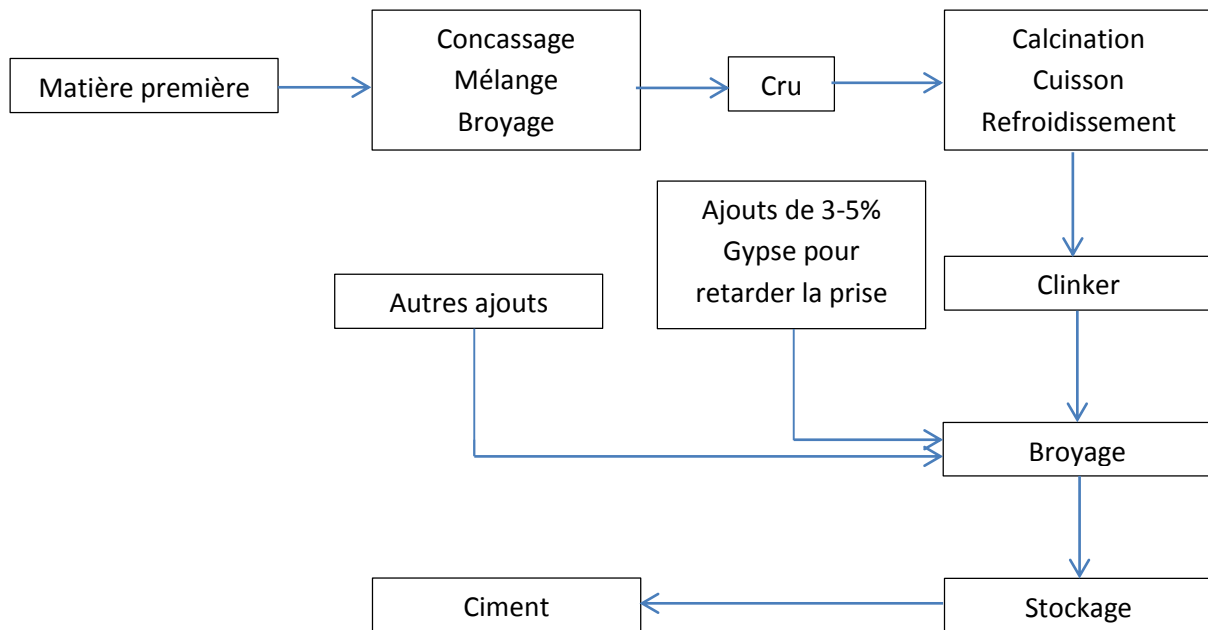
La Clinkérisation du cru, c'est-à-dire sa cuisson avec fusion partielle de la matière dépend de trois facteurs :

- La composition chimique du mélange.
- L'état physique
- La température et la durée de cuisson

» Caractéristiques des composants majeurs du clinker :

C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF

Processus de production du clinker



Ciment = Clinker (~97%) + Gypse (~3%)

↘ = Clinker (60%) + Gypse (3%) + Charge (Propriétés hydrauliques)

35 MPa

45Mpa

Additifs (autres que le gypse) au clinker pour fabriquer le ciment ;:

- **La pouzzolane** : qui est un produit naturel capable de fixer la chaux à température ambiante, pour former des composés ayant des propriétés hydrauliques.
- **Les fillers** : sont des roches obtenus par broyage fin, comme (calcaire, laitier, basalte...). Ils sont actifs s'ils ont, même partiellement des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment est d'eau.
- **Les cendres volantes de carbone minéral** : résidus de la combinaison du charbon, produites essentiellement par les centrales électriques (2 à 45% de CaO, 20 à 50% de SiO₂, 13 à 30% d'Al₂O₃, et 5% d'alcalins). Elles se présentent sous forme de produits pulvérulents de teinte grisâtre.
- **Le laitier** : les laitiers sont de haut-fourneau, sous-produits de la fabrication fonte ; ils se présentent sous la forme de nodules ou d'aiguilles assez fins, de couleur jaune brun, ils sont le produit de la combinaison de la gangue du minerai du fer et du fondant utilisé. Elles contiennent environ 40 à 50% de CaO, 26 à 32% de SiO₂, 12 à 20% d'Al₂O₃. Lorsque le laitier est mélangé avec du clinker et de la chaux, il présente des réactions de prise.

La composition chimique garantit les qualités du ciment à terme.

La composition est donnée par la Formule de Bogue qui donne les teneurs en C3S, C2S, C3A, C4AF + en chaux libre pour le clinker + teneur gypse et en calcaire pour un ciment.

CIMENT :

C3S

C3A

CaSO₄, 2H₂O = GYPSE

CaO libre = CHAUX LIBRE

Autres oxydes

C4AF

C2S

Module de saturation

$$LSI = \frac{CaO}{2.8 \cdot SiO_2 + 1.1 \cdot Al_2O_3 + 0.7 \cdot Fe_2O_3}$$

L'indice de saturation de Kuhl est compris entre 0.85 et 1

Module silicique (MS ou SR) :

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Le module silicique de kuhl est compris entre 1.5 et 5

Une valeur élevée correspond à une valeur élevée de silice au détriment des agents fondants.
Une valeur faible provoque un croûtage excessif dans la zone de clinkérisation et nuit à la bonne marche du four.

Module alumino-ferreux (AF ou AR) :

$$AF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Le module aluminoferrique de Kuhl est compris entre 1.5 et 2.5

II. Catégories de ciment :

Les ciments peuvent être classés en 5 grandes familles :

- Ciments Portland
- Ciments Portland Composé
- Ciments de hauts fourneaux
- Ciments pouzzolanique
- Ciments au laitier et aux cendres

Leur qualité s'effectue :

- D'une part d'après la composition potentielle (%C3S, C2S ...)
- D'une autre part d'après les caractéristiques de résistances mécaniques

Trois lettres désignent la composition du ciment + Le nombre désigne la résistance à la compression, en MPa, après 28 jours.

CPJ 45 : ciment portland composé (65% minimum de clinker avec des ajouts). 45 MPa à 28 jours (ciment pour béton)

*le complément à 100% d'un ou plusieurs constituants secondaires tels que les fillers, pouzzolanes ou les cendres définis.

*le gypse pour régulariser la prise

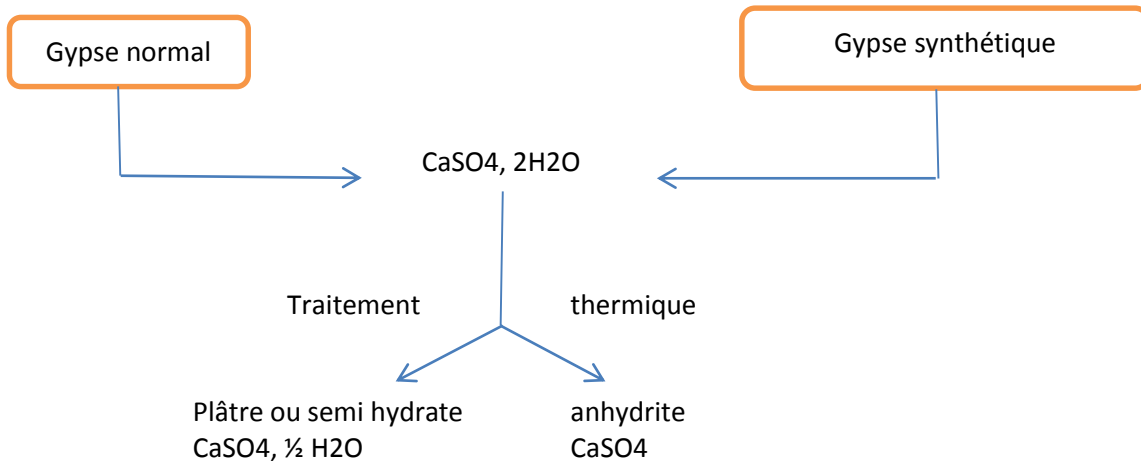
Plâtres et ciments

Les liants sont des produits utilisés pour lier ou agglomérer entre eux plusieurs matériaux.

- Un liant hydraulique (plâtre, ciment) est un liant qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau et est aussi capable de le faire sous l'eau.

Chapitre 1 :

Gypses et plâtres



La cuisson permet d'obtenir par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre.

Caractéristique	CaSO ₄ , 2H ₂ O	CaSO ₄ , ½ H ₂ O	CaSO ₄ , ½ H ₂ O
Nom commun	Gypse, pierre à plâtre	Plâtre	Plâtre
Désignation	Dihydrate	Hémihydrate	Hémihydrate
Variétés		Alpha	Beta
% H ₂ O	20.93	6.21	6.21
Poids moléculaire	172.12	145.15	145.15
Masse volumique	2.32	2.76	2.62 à 2.64
Réseau cristallin	Monoclinique	Rhomboédrique	Rhomboédrique

A. Le gypse naturel :

On distingue :

- un gypse massif de couleur grise à grains fins
- un gypse blanc
- un gypse à aspect grenu, contenant des modules transparents de gypse recristallisé rose ou blanc

les réserves en gypse de la région s'estiment à plus de 5 millions de tonnes

Composition du gypse :

Un gypse pur est composé de : 92 à 94% de $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$, 2 à 4% de CaCO_3 , 2 à 4% d'autres éléments tels que $\text{SiO}_2, \text{MgO}, \text{R}_2\text{O}$

Remarque : Le gypse renferme globalement 30% d'eau environ

Dureté : 1.5 à 2 dans l'échelle de Mohr suivant l'orientation des faces

B. le gypse synthétique :

a) Résidus de fabrication industrielle :

Le sulfate de calcium hydraté (gypse) ou anhydre est également un sous-produit de divers industries

Industrie des engrais phosphatés

Fabrication de l'acide fluorhydrique

Désulfuration des gaz de combustion

Autres industries

b) Dans certaines conditions de T et P1 on obtient le gypse de haute pureté

Dihydrate (gypse)

$\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$

Hémihydrate = plâtre

$\text{CaSO}_4, \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (α, β)

Anhydrite soluble (d=2.58)

CaSO_4 III (α, β)

Instable parce que très à vide d'eau,

Qui, ajoute au plâtre ordinaire, en active la prise

Anhydrite insoluble (d= 2.93 à 2.97) CaSO_4 II

Le surcuit ou anhydrite insoluble obtenu par cuisson entre 400 à 600°C dans des fours continus à chauffage très peu soluble à prise lente mais dans des délais longs.

Inutilisable : on l'ajoute au semi hydrate dans une proportion de l'ordre de 30% pour la fabrication de plâtre pour enduits.

Anhydrite de haute température CaSO_4 I