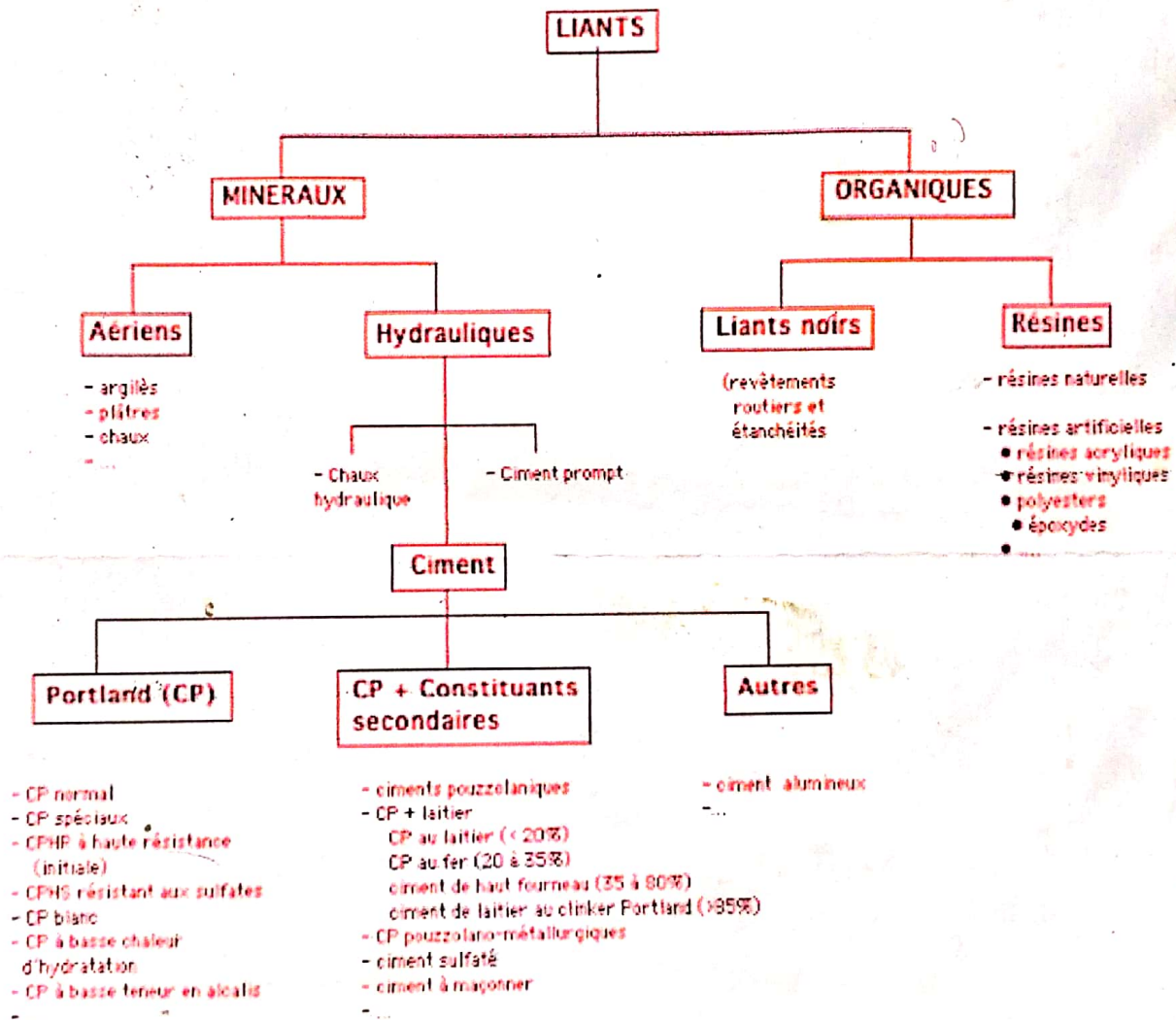


Chapitre 2 : Les Liants Minéraux

Un **liant** est un produit qui sert à agglomérer en masse solide, des particules solides sous forme de poudre ou de granulats.

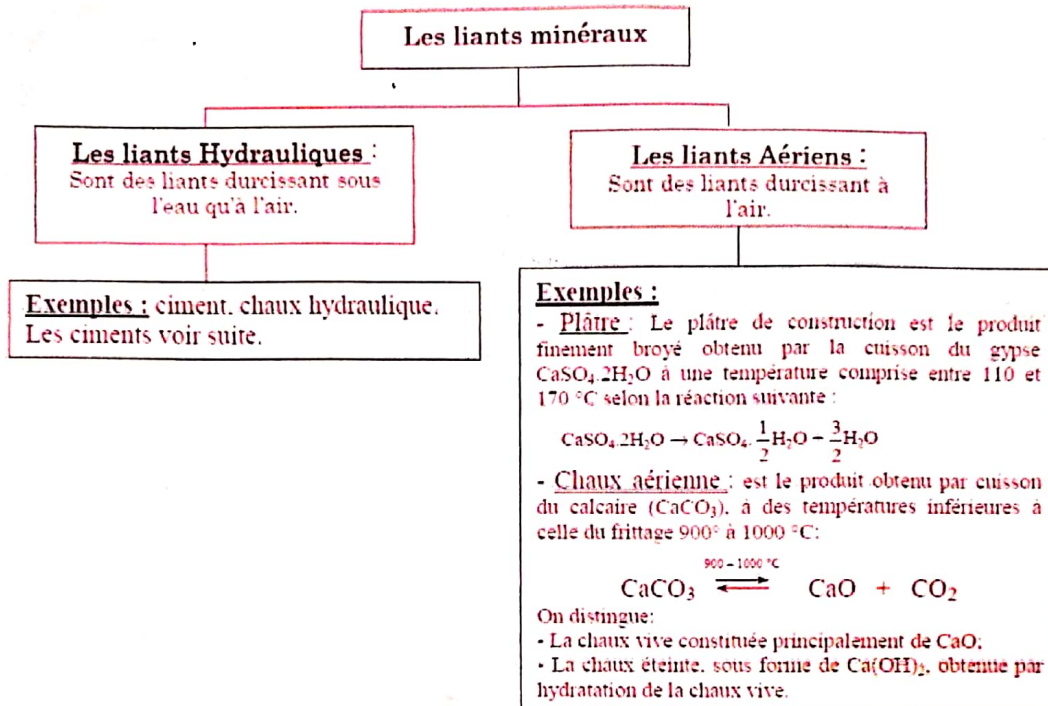
Selon leur composition, les liants peuvent être classés en deux grandes familles :



1. Les liants minéraux : selon leur mode de durcissement, ils peuvent être classés en deux familles. Les liants minéraux sont subdivisés en deux catégories ;

.Les liants aériens : durcissement à l'air dû à une réaction de carbonatation : chaux aériennes, plâtres, argiles.

.Les liants hydrauliques : durcissement en milieux humides ou dans l'eau dû à une réaction d'hydratation de silicates ou d'aluminates : chaux hydrauliques, prompt, ciments (ciment Portland), laitiers.



1. LES LIANTS AERIENS

1.1. LES ARGILES :

1.1.1 Définition : Les argiles sont des silicates d'alumine complexes hydratés ($x \text{SiO}_2, y \text{Al}_2\text{O}_3, \dots, n \text{H}_2\text{O}$).

On distingue 4 types d'argile :

- 1/ La Kaolinite.
- 2/ L'illite.
- 3/ La Vermiculite.
- 4/ La Montmorillonite.

	Types d'argile.			
	Kaolinite	Illite (mica)	Vermiculite	Montmorillonite
Surface spécifique (m ² /g)	15	80	80	800
Gonflement en présence d'eau	faible	faible	moyen	très fort

1.1.2 Mécanisme de durcissement :

La cohésion de l'argile sèche est due aux forces capillaires qui prennent naissance lorsqu'apparaissent des ménisques dans le matériau à structure capillaire.

1.2. LE PLÂTRE :

1.2.1 Définition : Il est dû à la cuisson du gypse à basse température, il a plusieurs des avantages et des inconvénients :

1.2.2 Les avantages :

- Le temps de prise est contrôlable.
- il faut une attente minimum entre les différentes couches successives.
- il y a la possibilité d'obtenir différent degré de dureté, de surface, et de texture.
- absence de retrait.
- isolation thermique et phonique.
- bonne résistance au feu.

1.2.3 Les inconvénients :

- le plâtre ne peut pas être utilisé à l'extérieur.
- il est de nature acide, et peut favoriser la corrosion de l'acier.
- le temps de séchage est remarquablement long surtout pour les produits préfabriqués.
- sa mise en œuvre est généralement salissante surtout pour les éléments préfabriqués.

1.2.4 Fabrication du plâtre :

Sa fabrication passe par les étapes suivantes :

- Extraction : du gypse à l'aide d'explosifs, quand il s'agit de gisement à ciel ouvert : " des carrières ".
- Concassage : afin de réduire la dimension de ses grains.
- Le criblage : qui ne sélectionne que les grains de diamètre inférieur à 40 mm.
- Stockage et homogénéisation
- Cuisson : il sera par la suite cuit à 150°C.
- Stockage dans deux silos qui représente deux à trois jours de production.
- Mélange :

(exemple : 100 kg semi-hydrate + 70 kg ajouts tels :

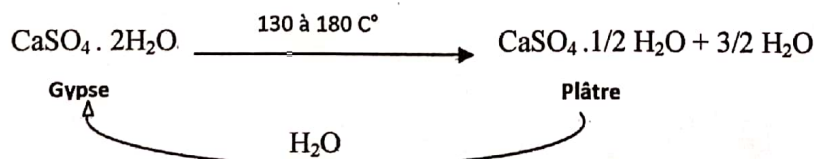
1 / L'amidon, pour améliorer l'adhésion entre le plâtre et le carton.

2/ Des adjuvants.

3/ Des retardateurs pour modifier les temps de prise du plâtre...

1.2.5 Préparation :

Cuisson de gypse et transformation en semi-hydrate :



1.2.6 Caractéristiques du plâtre :

* Durcissement et prise

C'est la transformation de $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ (très soluble) en $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (qui est cinq fois moins soluble) et la dissolution et recristallisation

Délai de coulage : 8 minutes, quand on plante un clou, le trou reste.

Délai de lissage : 15 minutes, on ne peut pas planter un clou de plus de 1 cm.

* Résistance

La résistance du plâtre dépend du rapport : $E/P = \text{Eau} / \text{Plâtre}$, car le plâtre est sensible à l'eau.

Gâché correctement et conservé à 28 jours, une résistance maximale à la compression de 10MPa et à la traction de 2 MPa peuvent être atteinte.

* Propriété physiques

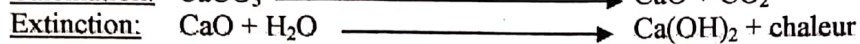
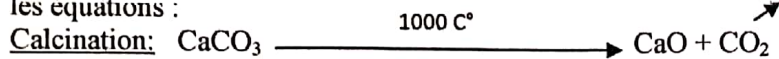
Densité : 600 à 3000 kg/m³

Surface spécifique : 1500 à 8000 kg/m²

1.3 LA CHAUX :

1.3.1 Définition :

On emploie le calcaire le plus pur possible pour la fabrication de la chaux aérienne comme indiqué par les équations :



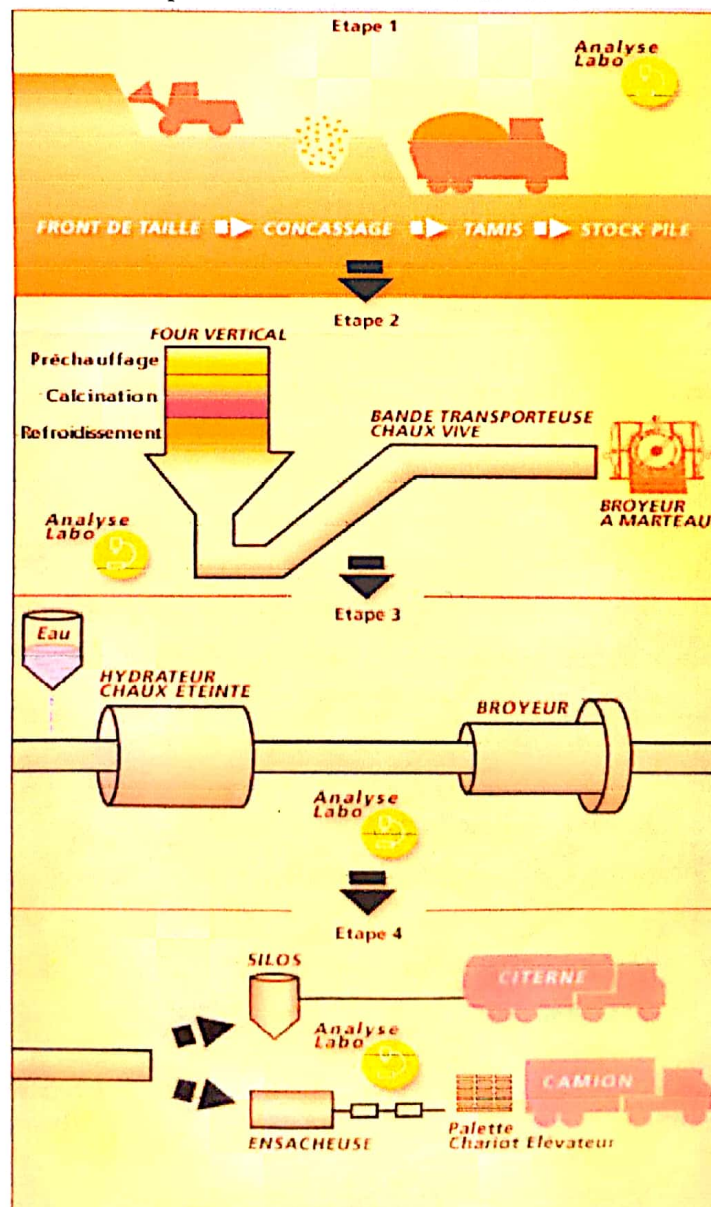
1.3.2 Différents types de chaux :

On distingue trois types de chaux :

- Chaux vive : morceaux, réactive
- Chaux hydratée ou éteinte : poudre, $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Chaux en pâte: $\text{Ca(OH)}_2 + n \text{H}_2\text{O}$ (excès d'eau).

1.3.3 Étapes de fabrication:

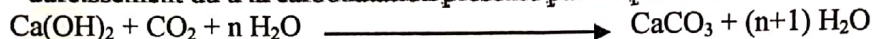
La figure ci-dessous montre les étapes de fabrication de la chaux aérienne



1.3.4 Caractéristiques de la chaux aérienne :

***Durcissement** : Le durcissement de la chaux est causé par plusieurs mécanismes :

- durcissement physique dû au séchage
- durcissement dû à la cristallisation
- durcissement dû à la carbonatation présenté par l'équation :



***Dosage et résistance**

La résistance d'une éprouvette confectionnée à partir d'un mortier contenant 3 à 5 volumes de sable pour un volume de chaux hydratée en pâte est de 0,5 à 1 N/mm² après 28 jours

Et de 5 à 7 N/mm² après des années

1.3.5 Domaine d'utilisation :

La chaux aérienne est principalement employée pour :

- les finitions intérieures et les peintures
- mortier de maçonnerie peu sollicité
- crépis, enduits, badigeons
- stabilisation des sols (réduction de la teneur en eau et dégagement de la chaleur dans le sol)
- briques silico-calcaires

2. LIANTS HYDRAULIQUE :

2.1 LA CHAUX HYDRAULIQUE :

2.1.1 Fabrication :

Calcaire marneux (calcaire + argile finement moulus) $\xrightarrow{900-1200^\circ}$ chaux hydraulique (6% à 20% d'argile), elle est fabriquée à base de calcaire qui sera par la suite cuit à 900-1200°C .

2.1.2 Domaine d'utilisation :

La chaux hydraulique est utilisée:

- Pour les soubassements
- Pour les enduits extérieurs, en raison de sa prise plus rapide et de sa moins grande sensibilité aux conditions climatiques lors de l'emploi. Un fixatif peut être rajouté lors de la préparation du badigeon: alun de potasse, latex, caséine.
- Pour faire des dalles, des chapes en y mélangeant du chanvre pour augmenter les performances thermiques, pour la pose de carrelages.
- en maçonnerie peu sollicitée, comme crépis ou enduit.
- pour avoir des résistances plus élevées :

2.2 CIMENT :

2.2.1 Introduction :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température de fusion.

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

L'expression de «pâte de ciment durcissant» sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide.

2.2.2 Principe de fabrication ciment portland :

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes:

- préparation du cru
- cuisson
- broyage et conditionnement

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau:

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).

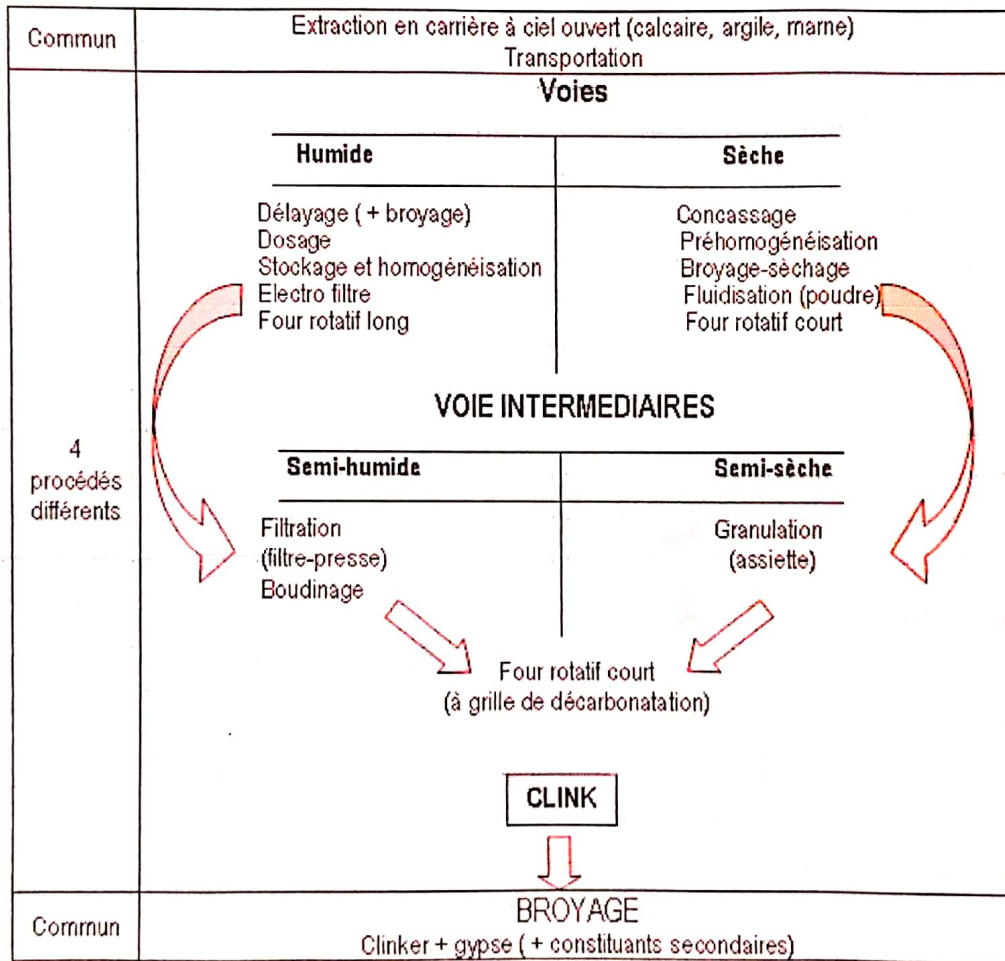
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant: calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

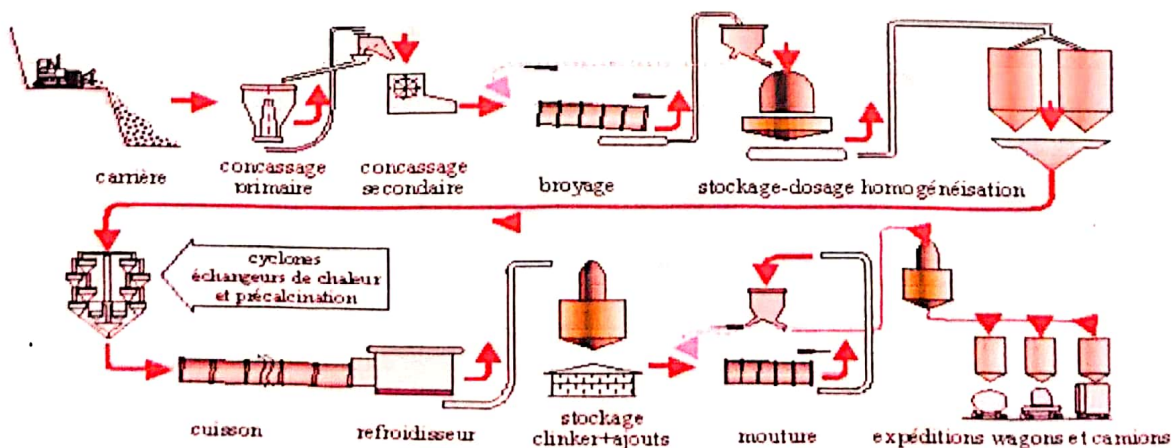
Un mélange d'argile et de calcaire est chauffé. Au début, on provoque le départ de l'eau de

Fabrication du ciment :

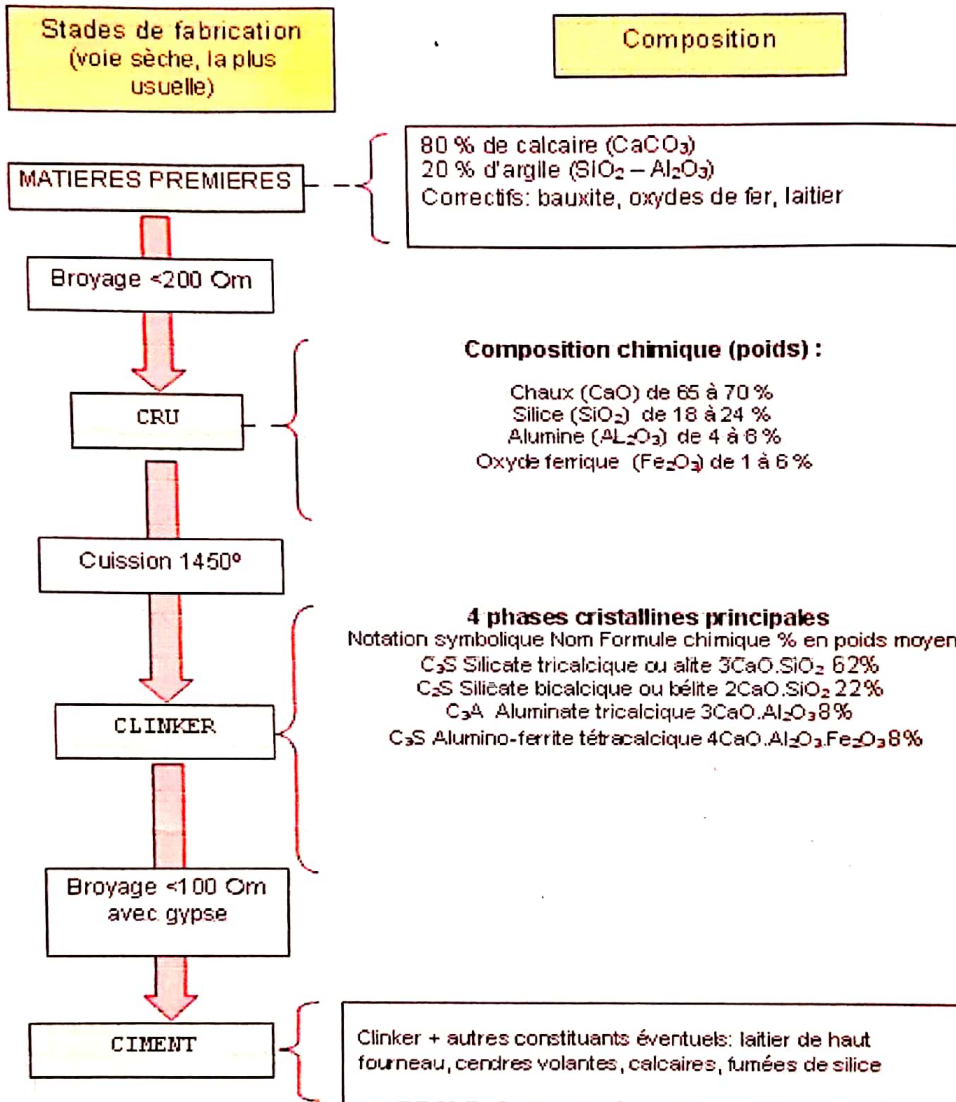
On procède à la fabrication des ciments par quatre voies montrées sur la figure ci-dessous :



La fuguer ci-dessous montre la procédure de fabrication des ciments :



Le présent schéma montre la fabrication des ciments par voie sèche :



2.2.3 Constituants principaux et additions

2.2.3.1 Constituants du clinker

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont:

- Le silicate tricalcique $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C3S) (50-70% du clinker).
- Le silicate bicalcique $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C2S) (10-30% du clinker).
- L'aluminate tricalcique $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A) (2-15% du clinker).
- L'alumino-ferrite tétracalcique (Ferro-aluminate tétracalcique)
 $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF) (5-15% du clinker).

Le clinker contient encore en faibles quantités, sous forme de solution solide ou pris dans des combinaisons complexes, des alcalis (Na_2O , K_2O), de la magnésie (MgO), diverses traces de métaux. La teneur en alcalis et magnésie doit rester faible, car ces matières peuvent influencer défavorablement la stabilité du ciment durci.

2.2.3.2 Les autres constituants des ciments

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques.

Les constituants les plus utilisés sont:

Calcaires:

Les calcaires sont considérés comme un des constituants principaux du ciment. Ils doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75% en masse.

Laitier granulé de haut fourneau:

Le laitier est un sous-produit de l'industrie métallurgique ayant des propriétés hydrauliques. Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaines scories fondues provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau.

Cendres volantes (V ou W):

Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. On distingue:

Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques;

Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

Schistes calcinés:

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ $800\text{ }^\circ\text{C}$ dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

Fumée de silice:

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de $0,1\text{ }\mu\text{m}$). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85 % (en masse). Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques.

Fillers:

Ce sont des "constituants secondaires" des ciments, donc ils ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment. Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

2.2.4 Les principales catégories de ciment.

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

2.2.4.1 Classification des ciments en fonction de leur composition

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

- CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française),
- CEM II: Ciment portland composé (CPJ),
- CEM III: Ciment de haut fourneau (CHF),

- CEM IV: Ciment pouzzolanique (CPZ),
- CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

2.2.4.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous classes "R" sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5, classe 42,5, classe 52,5.

2.2.5. Les caractéristiques du ciment portland

2.2.5.1 La prise :

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue 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 au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser.

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels:

- la nature du ciment,
- la finesse de mouture du ciment; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court,
- la température; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide.
- la présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise,
- l'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise
- En fonction de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20 °C, de: 1 h 30 pour les ciments de classes 35 et 45. 1 h pour les ciments des classes 55 et HP.

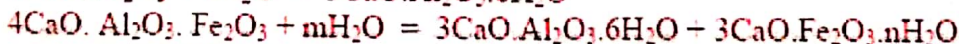
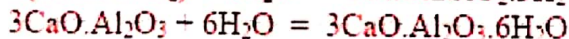
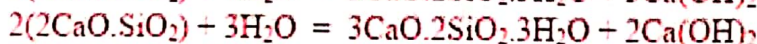
Il est à noter que pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h pour la majorité des ciments.

2.2.5.2 Le durcissement :

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

Quelques réactions chimiques importantes:



GYPSE



CIMENT PORTLAND

HYDROSULFO-ALUMINATE CALCIQUE

Les réactions d'hydratation du ciment Portland sont très complexes. Nous ne considérons que les quelques-unes utiles à connaître pour mieux comprendre les propriétés des ciments portlands.

2.2.5.3 La finesse de mouture (finesse de Blaine) :

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm²/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm²/g.

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important

L'appareil utilisé pour déterminer la finesse de mouture de ciment est appelé «Perméabilimètre de Blaine».

2.2.5.4 Le retrait :

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives. C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton.

En fait il existe plusieurs types de retrait:

Le retrait avant prise dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation et dont l'amplitude est dix fois celle du retrait hydraulique classique.

le retrait hydraulique, qui découle d'une part de la contraction Le Chatelier (le volume des hydrates est inférieur au volume des constituants de départ) et d'autre part du retrait de dessiccation (contraction au séchage), est de l'ordre de 0,2 à 0,4 mm/m pour les bétons.

le retrait thermique, qui est dû à la contraction du béton lors de son refroidissement.

2.2.5.5 Chaleur d'hydratation :

Le phénomène de prise du ciment s'accompagne d'une réaction exothermique dont l'importance dépend de différents paramètres, en particulier:

1. la finesse de mouture: plus le ciment est broyé fin, plus la chaleur d'hydratation est élevée
2. la nature des constituants: les ciments CPA comportant presque exclusivement du clinker dégagent plus de chaleur que des ciments avec constituants secondaires
3. la nature minéralogique du clinker: plus les teneurs en aluminat tricalcique (C3A) et silicate tricalcique (C3A et C3S) sont élevées, plus la chaleur d'hydratation est forte
3. la température extérieure.

2.2.5.6 Stabilité de volume :

La réaction d'hydratation est accélérée par un traitement thermique de la pâte, de façon à pouvoir constater l'expansion éventuelle du ciment dans un délai très court.

Un essai permet de s'assurer que le ciment ne contient pas de substances susceptibles de provoquer une expansion dangereuse au cours du temps à l'aide des aiguilles de « Le Chatelier » .

2.2.5.7 Résistance à la compression :

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en Mpa.

Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le sable utilisé est un sable appelé "sable normaliser CEN EN 196-1".

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.