

APERCU SUR LE PROCESSUS DE FABRICATION DU CIMENT

Ce chapitre présente les différentes étapes de la fabrication du ciment par la SOCOCIM-INDUSTRIES, à Rufisque.

Il existe quatre méthodes de fabrication du ciment :

- fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne)
- fabrication du ciment par voie semi-humide (dérivée de la voie humide) ;
- fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée) ;
- fabrication du ciment par voie semi-sèche (dérivée de la voie sèche).

La SOCOCIM-INDUSTRIES utilise la voie sèche pour fabriquer son ciment (figure 29).

3.1. SCHEMA DE FABRICATION DU CIMENT A LA SOCOCIM-INDUSTRIES

3.1.1. Extraction des matières premières

L'extraction des matières premières s'effectue dans les carrières de la SOCOCIM-INDUSTRIES (Bargny, Pout et Bandia). Ces matières premières sont extraites du sol par abattage à l'explosif, et ensuite à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des dumpers et des camions gros porteurs vers les stations de concassage ARBED et DUO 612. Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. Le prélèvement d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires.

3.1.2. Homogénéisation

La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène. Cette opération est réalisée dans un grand hall où les matières premières sont disposées en couches horizontales superposées, mises en tas nommés A, B, C et D ; puis en les reprenant verticalement à l'aide d'un gratteur. Le mélange est homogénéisé dans un silo vertical par brassage par air comprimé.

Un important dispositif d'analyse en permanence de la matière crue est installé dans le dispositif du transport de cette dernière vers les ateliers de cuisson. Ceci permettra de contrôler instantanément la chimie des tas.

3.1.3. Séchage et broyage primaire

Les matières premières sont séchées et broyées très finement (de l'ordre du micron) dans des broyeurs. La poudre ainsi obtenue est introduite dans le four sous forme pulvérulente, après un préchauffage dans une tour à échangeurs thermiques.

3.1.4. Préchauffage et cuisson

Avant la cuisson dans le four, la poudre est préchauffée à environ 800°C par un préchauffeur à cyclones. La cuisson se fait dans un four rotatif et légèrement incliné. La SOCOCIM-INDUSTRIES dispose de deux fours : four 4 et four 5. La poudre va suivre différentes étapes de transformation lors de sa lente progression dans le four, vers la partie basse, à la rencontre de la flamme. Cette source de chaleur est alimentée au charbon broyé, fioul lourd, gaz, ou encore en partie avec des combustibles de substitution provenant d'autres industries, tels que le coke d'arachides, les pneus usagés, les huiles usagées.

La température nécessaire à la clinkérisation est de l'ordre de 1 450 °C. L'énergie consommée se situe entre 3 200 et 4 200 kJ par tonne de clinker, qui est le produit semi fini obtenu à la fin de la cuisson. Il se présente sous forme de granules grises ; à la sortie du four. Le clinker est le principal constituant du ciment. La clinkérisation est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives permettant :

- la décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive) ;
- la scission de l'argile en silice et alumine ;
- la combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux pour former des silicates et des aluminates de chaux.

3.1.5. Refroidissement et broyage secondaire

Le clinker ainsi obtenu est par la suite refroidi et finement broyé pour conférer au ciment des propriétés hydrauliques actives. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets d'acier et mis en rotation. Lors de cette étape, le gypse ou phosphogypse (3 à 5 %), indispensable à la régulation de prise du ciment en présence d'eau, est ajouté au clinker. Le produit obtenu est le ciment Portland.

Les ciments à ajouts (CEMI, CEMII...) sont obtenus par l'addition, lors de la phase de broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus dans des matériaux tels que : les laitiers de hauts fourneaux (résidus de la sidérurgie) ; les cendres volantes de centrales thermiques; les fillers calcaires; les pouzzolanes naturelles ou artificielles.

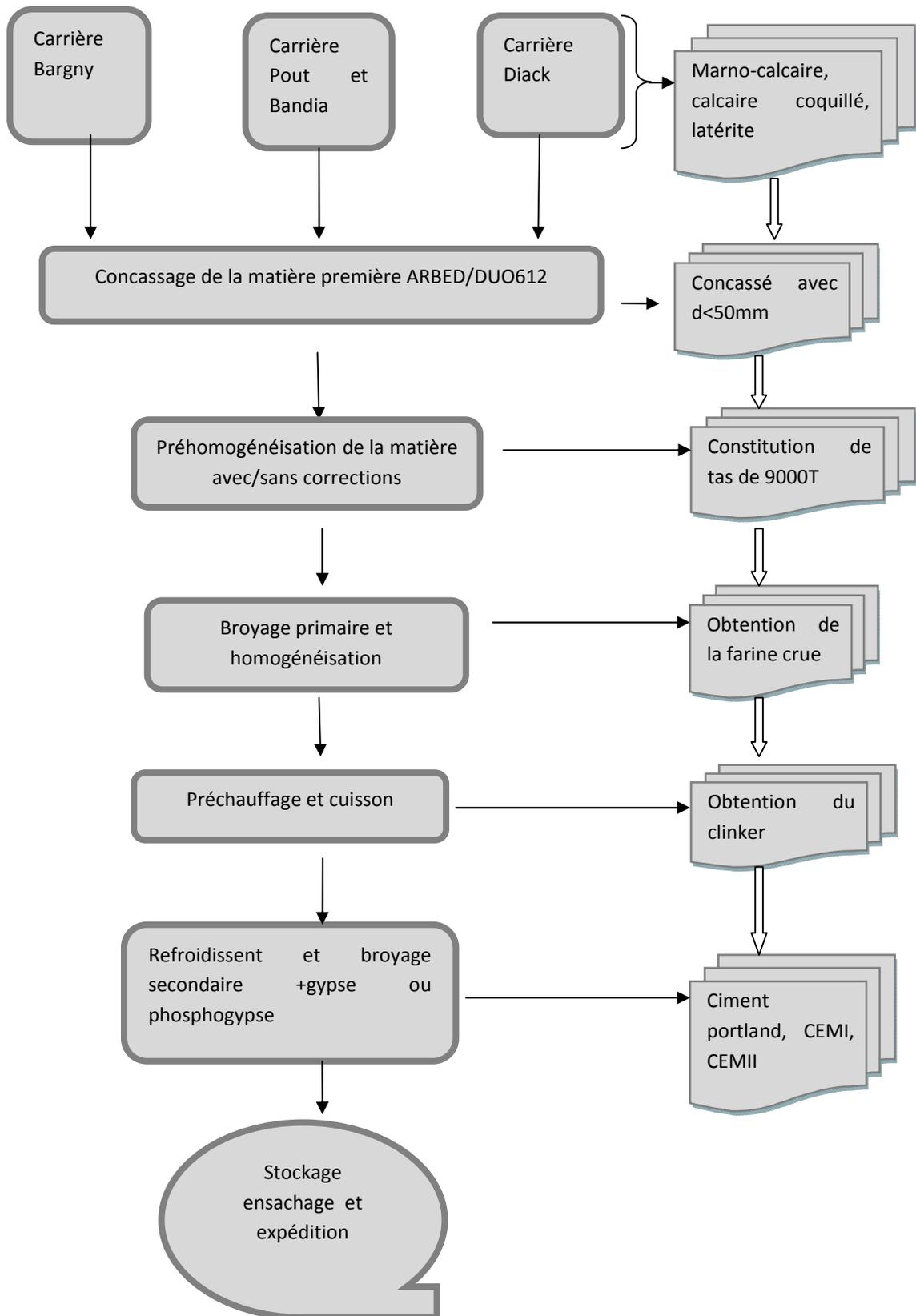


Figure 29 : Processus de fabrication du ciment par la SOCOCIM-INDUSTRIES (Ndour, 2012).

3.2. MODULES ET PARAMETRES DE CONTROLE DU CRU ET DU CLINKER

La composition chimique garantit les qualités du ciment à terme, c'est-à-dire pendant sa fabrication, et également des mois, voire des années après sa commercialisation. Des analyses sont donc effectuées sur des échantillons prélevés régulièrement tout au long du processus de la fabrication. L'analyse des matières premières et des combustibles permet de connaître les teneurs des différents constituants, et de pouvoir ainsi les doser. Ces analyses sont devenues d'autant plus importantes que la fabrication du ciment a de plus en plus recours à des produits de recyclage, tant dans les matières premières (par exemple les laitiers) que pour les combustibles (déchets ne dégageant pas de fumées toxiques,...). Par ailleurs, ces analyses permettent également un pilotage rétroactif du four : lorsque le taux de chaux libre (CaO) est trop important, cela signifie que le four n'est pas assez chaud.

La qualité finale est évaluée par des modules, c'est-à-dire des valeurs calculées à partir de la composition chimique (tableau X).

On définit par exemple :

Tableau X : Paramètres de contrôle du ciment

Paramètres	Formules	Valeurs Admises	Valeurs Idéales	Commentaires
Facteur de Saturation en Chaux (L.S.F.)	$L.S.F = \frac{100CaO}{2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3}$	105 à 115	110	Cette équation détermine la quantité de chaux nécessaire pour saturer les trois autres oxydes (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)
Indice Silicique (I.S.)	$I.S. = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	2,5 à 3,5	2,7	La deuxième équation est celle qui détermine la relation entre la quantité de SiO ₂ d'une part et la quantité d'Al ₂ O ₃ et Fe ₂ O ₃ d'autre part.
Module Alumino-ferrique (A/F)	$A/F = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	1,3 à 1,6	1,52	La troisième équation est celle qui détermine la relation entre la quantité d'Al ₂ O ₃ et de Fe ₂ O ₃ .

3.3. MINERALOGIE DU CLINKER

Pendant la clinkérisation, plusieurs réactions chimiques se produisent aboutissant à la formation de nouveaux composés que sont:

Le C3S, silicate tricalcique ou alite (3CaO , SiO_2):

Il est responsable de la résistance du ciment à court terme (55 à 65% dans le clinker).

Le C2S, silicate bicalcique ou bélite (2CaO , SiO_2) :

Il est responsable de la résistance du ciment à long terme (de l'ordre de 20% dans le ciment).

Le C3A ou aluminat tricalcique ou célite (3CaO , Al_2O_3) :

Ce constituant est responsable de la vitesse de la prise du ciment et de la mauvaise résistance du ciment aux sulfates.

Le C4AF ou ferro-alluminat tétracalcique ou ferrite ou encore félite (4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3) :

Il favorise la cuisson.

3.4. LES DIFFERENTES CATEGORIES DE CIMENT

En fonction des pourcentages de clinker et du type d'ajouts, les ciments sont classés en sept catégories :

- **Le CEM I ou ciment Portland**, contient au moins 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires. Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint où une résistance élevée est recherchée.
- **Le CEM II A ou B ou ciment Portland composé**, contient au moins 65% de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitiers de haut-fourneau, fumée de silice (limitée à 10 %), pouzzolanes naturelles, cendres volantes, calcaires... Les CEM II sont bien adaptés pour les travaux massifs
- **Le CEM III A ou B ou ciment de haut-fourneau**, contient entre 36 et 80 % de laitiers de haut-fourneau et 20 à 64 % de clinker.
- **Le CEM III C ou ciment de haut-fourneau** contient au moins 81 % de laitier et 5 à 19 % de clinker
- **Le CEM IV A ou B est un ciment de type pouzzolanique**. Avant l'introduction de la norme NF EN 197-1, il était connu sous l'appellation CPZ.

- **Le CEM V A ou B ou ciment composé** (anciennement ciment au laitier et aux cendres) contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitiers de hauts-fourneaux.
- **Les CEM III et CEM V** qui comportent des laitiers de hauts-fourneaux sont bien adaptés aux travaux hydrauliques souterrains, aux fondations et aux travaux en milieu agressif. Leur utilisation permet de réduire considérablement les émissions de CO₂ grâce à la substitution du clinker par d'autres constituants.

Conclusion partielle :

Les figures 30 et 31 illustrent bien le processus de fabrication du ciment. Elles montrent les différentes phases de fabrication du ciment c'est à dire de l'extraction de la matière première à l'expédition.

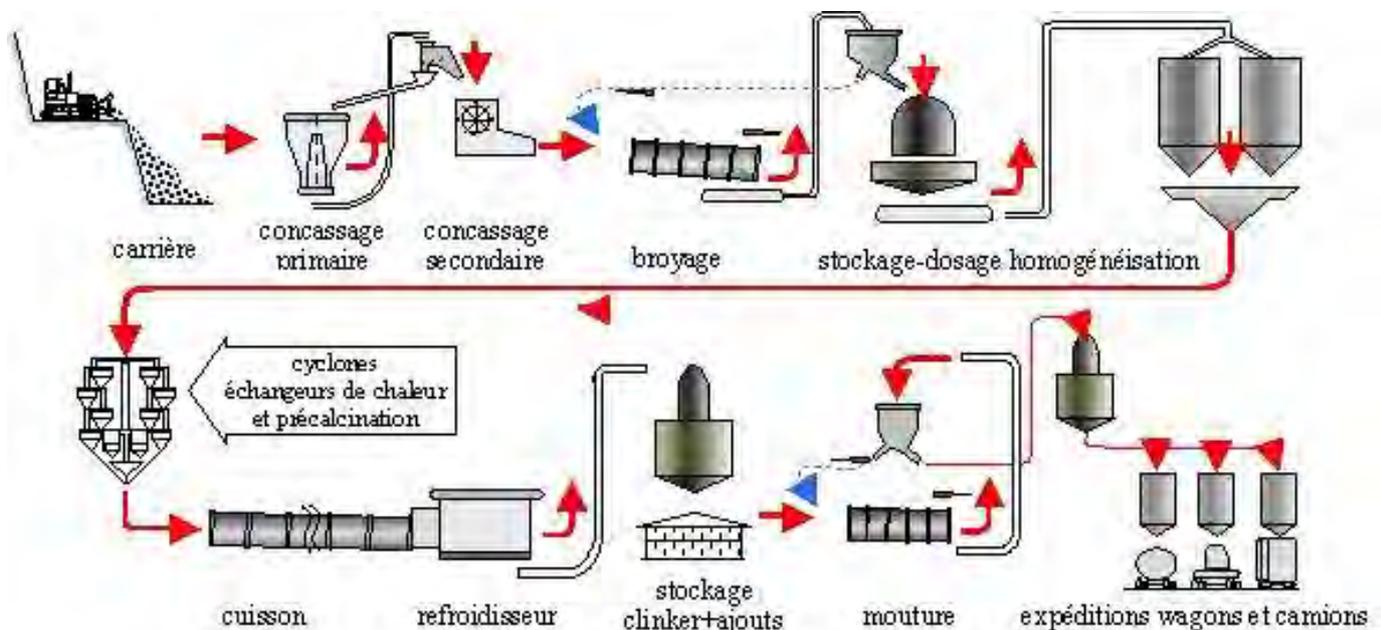


Figure 30 : Phases de fabrication du ciment (www.google.com)

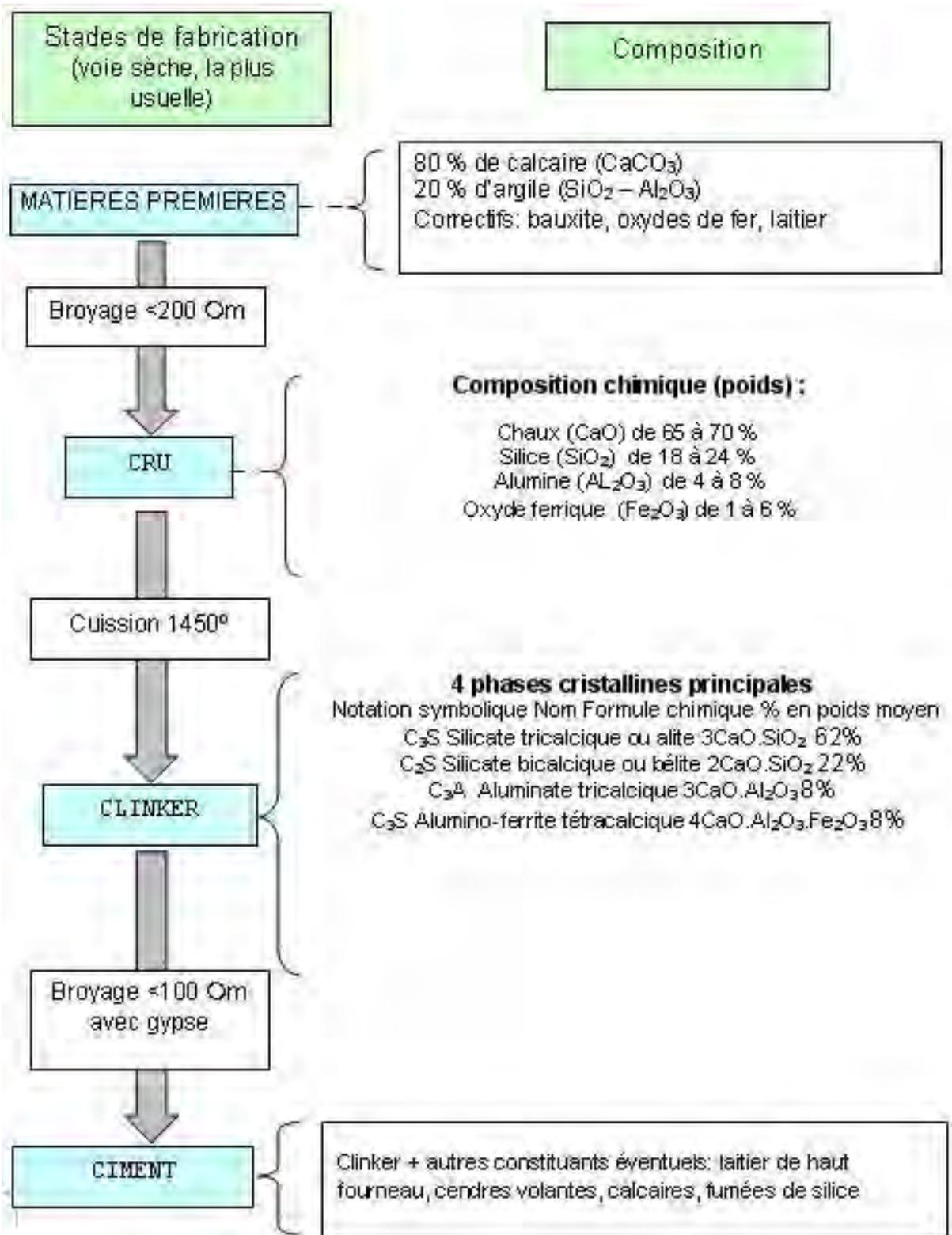


Figure 31 : Etapes de fabrication du ciment avec sa composition (www.google.com).