

1.2. ABC ciment

Le ciment est un liant hydraulique inventé au 18^{ème} siècle par les romains et constitué d'une poudre minérale, c'est donc une matière inorganique finement moulue, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson et d'un refroidissement à l'air brusque, appelé clinker, est pour l'essentiel une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique. Le ciment résulte donc du broyage du clinker avec d'autres constituants secondaires, à savoir le sulfate de calcium ajouté généralement sous forme de gypse, le laitier, les cendres volantes, etc. Gâché avec de l'eau, il forme une pâte plastique faisant prise et durcissant progressivement par suite de réaction et processus de déshydratation. Après durcissement, le ciment conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. En effet, les constituants anhydres, présents sous forme de cristaux polygonaux assez réguliers et homogènes, se combinent à l'eau et se décomposent. En s'hydratant, ils recristallisent, prenant des formes très variées, notamment des aiguilles, des bâtonnets, des prismes.

Il existe deux grandes familles de ciment

- les ciments Portland, constitués majoritairement de silice (SiO_2) et de chaux (CaO) et qui sont utilisés principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.

- les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine (Al_2O_3) et de chaux. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux libre [2].

Lafarge Ciments Bouskoura produit différents types de ciments, à savoir :

- Le CPJ35 avec un pourcentage en clinker de 65%, le reste est constitué des ajouts (calcaire, cendres volantes). La résistance à la compression à 28 jours doit être supérieure à 22,5 MPa. Le CPJ 35 développe des performances adaptées pour une utilisation dans la confection des bétons faiblement sollicités, béton non armé et tous les types de mortiers.
- Le CPJ45 avec un pourcentage en clinker de 65%, le reste est constitué des ajouts (calcaire, cendres volantes). La résistance à la compression à 28 jours doit être supérieure à 32,5 MPa. Le CPJ45 développe des performances qui lui permettent d'être utilisé pour les bétons armés courants et les bétons destinés aux travaux en grandes masses.



- Le CPJ55 qui est un ciment composé principalement du 80% clinker et le reste est constitué d'ajouts (calcaires, cendres volantes et gypse). La résistance à 28 jours doit être supérieure à 42,5MPa. Le CPJ55 développe des performances qui lui confèrent une bonne aptitude pour la confection des bétons armés destinés aux ouvrages, bâtiments et travaux publics.



- Le CPA 65 qui doit contenir un pourcentage minimum de clinker de 90% et dont les hautes performances mécaniques particulièrement les résistances à la compression développées à 24 heures, lui permettent d'être utilisé pour les bétons très sollicités ou nécessitant un décoffrage rapide.

- Le Super blanc CPA 65 est un ciment adapté pour tous les usages de finition esthétique, qui doit contenir suivant la norme marocaine NM 10.1.004 est composé de calcaire (17,6%) et de clinker gypsé (82,4%). Ses performances et sa blancheur en font un ciment idéal pour les bétons polis destinés aux revêtements de sol.



- Le PREFA est un nouveau ciment gris parfaitement adapté et 100% dédié à la fabrication des petits éléments de préfabrication, qui doit contenir. Suivant la norme NM 10.004, le ciment PREFA est composé de 65% de clinker et un maximum de 35% d'ajouts secondaires (hors gypse).



- Le CPJ 55 Prise Mer à base de cendres volantes répond aux deux normes NM 10.1.004 (liants hydrauliques) et NM 10.1.157 (ciments pour travaux à la mer). Le CPJ 55 Prise Mer contient au minimum 75 % de clinker prise mer, le reste est constitué d'ajouts (calcaires, cendres volantes). Ces ciments sont destinés à la confection des bétons nécessitant des performances qui leur permettent de mieux résister aux éléments chimiques présents dans les milieux agressifs tels que les eaux marines, les eaux séléniteuses, eaux saumâtres, etc.

1.3. Procédés général de fabrication du ciment

1.3.1. Organigramme du Procédés

Avant d'obtenir le produit fini qui est le ciment, les matières premières subissent diverses transformations physiques et chimiques et ce en plusieurs étapes.

L'organigramme suivant résume ces différentes étapes :

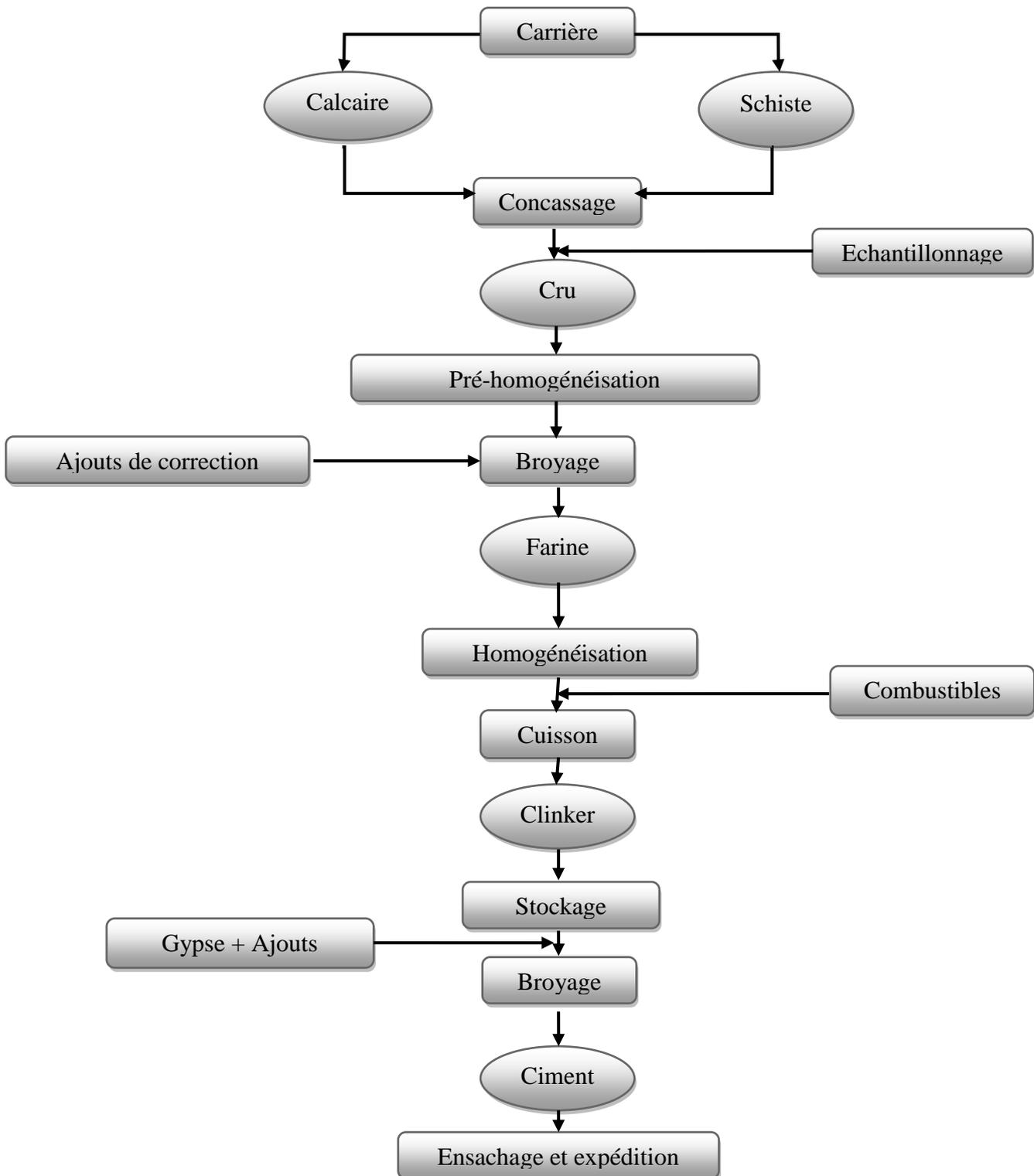


Figure 2 : Organigramme du Procédés général de l'usine Bouskoura

1.3.2. Etapes de fabrication du ciment

1) Carrière

LAFARGE ciments dispose de carrières fournissant deux matières premières :

- Le calcaire riche en CaCO_3 et le schiste qui donne SiO_2 et Al_2O_3 .

L'extraction de ces roches se fait dans ces carrières par abatage à l'explosif qui consiste à fragmenter le massif exploité.

Les matières premières ainsi extraites en carrière sont transportées jusqu'à l'usine pour y subir leur première transformation qui est le concassage.

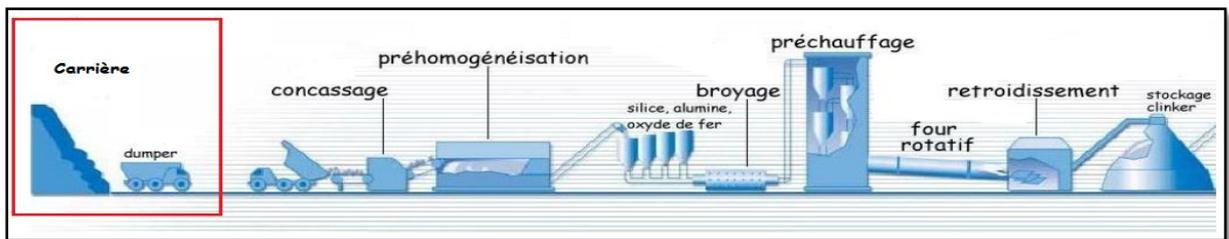


Figure 3 : L'étape d'extraction

2) Concassage

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions. Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant et contenant de fortes proportions des éléments suivants : CaCO_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 et des traces d'autres éléments.

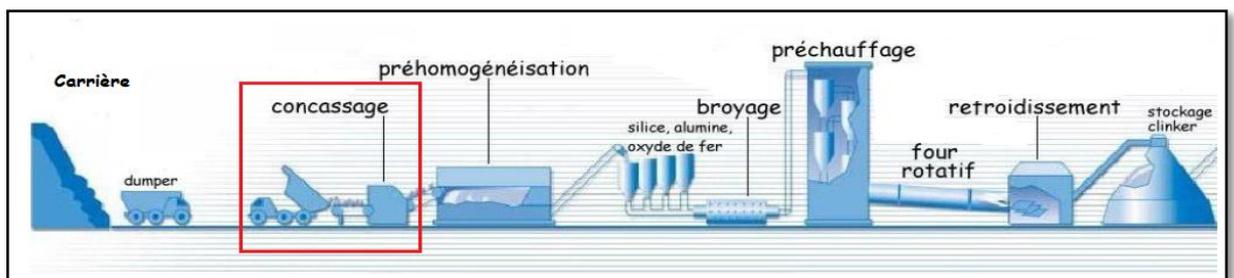


Figure 4 : L'étape de concassage.

3) Pré-homogénéisation

Après le concassage, la matière crue présente toujours des fluctuations importantes dans sa composition, c'est pourquoi elle est introduite dans une tour d'échantillonnage qui a pour but de déterminer et de réaliser un pré dosage des quatre constituants de base du cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini. Puis stockée dans l'installation de pré homogénéisation

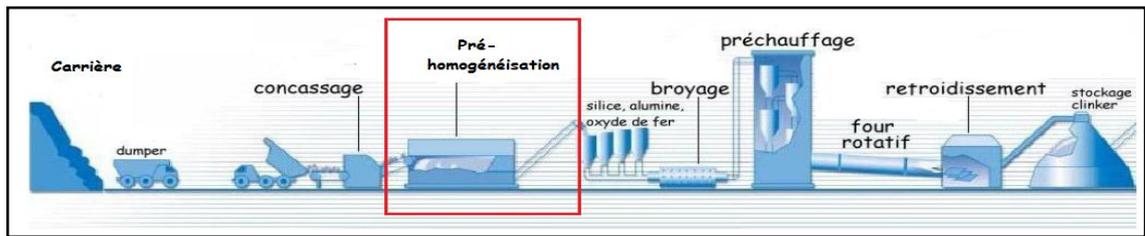


Figure 5 : L'étape de pré homogénéisation

4) Broyage cru

Les matières pré homogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactives au cours de leur cuisson dans le four.

La fonction du séchage est nécessaire car le broyage ne peut s'effectuer que dans la mesure où la matière ne s'agglomère pas sous l'effet de l'humidité.

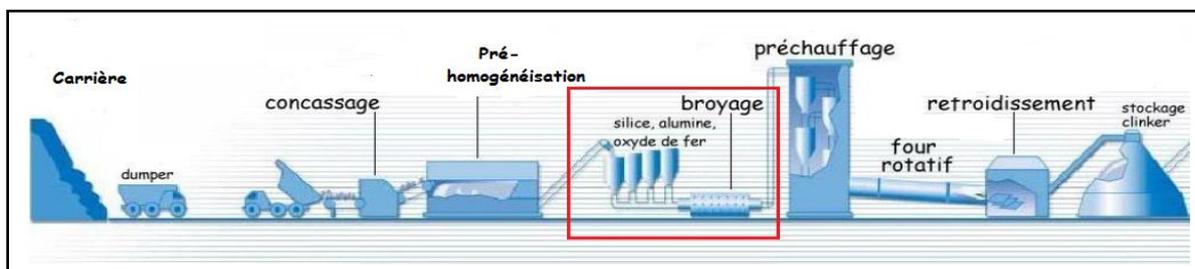


Figure 6 : L'étape de broyage cru.

5) Homogénéisation

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « farine ». Cette dernière doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées par brassage à l'air grâce à des ventilateurs.

6) Ligne de cuisson

Le but de l'atelier de cuisson est de préparer du clinker. Pour cela il faut préparer le cru et amorcer les réactions en créant de la chaleur et en transportant les calories. Pour effectuer ces opérations on aura recours à un certain nombre d'appareils :

- Tour de préchauffage :

La tour de préchauffage est un étage à cyclones qui permet le transfert de chaleur entre le gaz chaud à la sortie du four et la matière crue. Le cyclone assure deux fonctions principales : l'échange thermique gaz/ matière et la séparation gaz/mélange après l'échange.

Pour améliorer l'efficacité du four, On ajoute un précalcinateur pour augmenter la capacité du four et assurer 93% de la décarbonatation.

- Four :

Le four est la pièce maîtresse de la cimenterie, elle a pour rôle de transformer la matière préparée dans la tour en clinker en le portant à une température allant de 1000 à 1450 °C.

- Clinkérisation

La température nécessaire à la clinkirésation est de l'ordre de 1450 °C.

A partir de 650 °C environ. La première réaction de transformation de clinkérisation commence à se produire. Le carbonate de calcium issu calcaire subit une réaction de décarbonatation selon la réaction suivante :



On obtient alors de la chaux vive CaO accompagnée d'un important dégagement gazeux de CO_2 .

Au-dessus de 800 °C il y'a la formation du silicate monocalcique CS, de l'aluminate plus riche en chaux CSA_3 , du silicate bicalcique C_2S , de l'aluminate tricalcique et différent aluminate tricalcique C_3A et C_4AF , du silicate tricalcique par réaction de C_2S ce qui entraîne une disparition progressive de chaux libre Caol et du C_3S

- Refroidisseur

Le clinker sortant du four est trempé par un refroidisseur à grilles qui abaisse sa température de 1450 °C à 100 °C par soufflage d'air grâce à 11 ventilateurs.

La procédure du refroidissement après cuisson joue un rôle très important sur la forme et la réactivité des constituants du clinker. Il évite la décomposition du C_3S en C_2S , la

précipitation de MgO sous forme de gros cristaux et le changement de la forme cristalline de C_2S qui provoque la modification des propriétés hydrauliques du ciment.

Le clinker sortant du refroidisseur est transporté par un élévateur vers un silo de stockage de capacité de 40 000 tonnes.

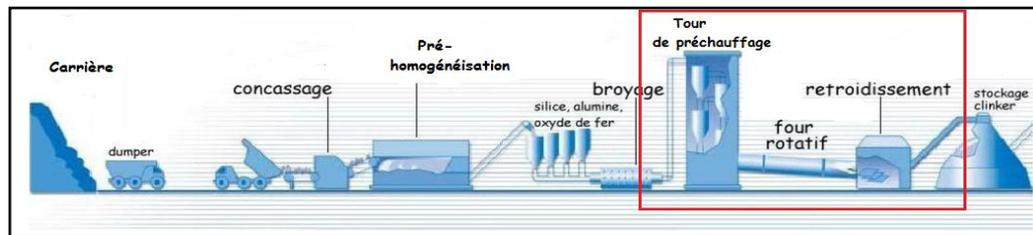


Figure 7 : L'étape de cuisson

7) Broyage cuit

Après refroidissement, les granulats de clinker sont ensuite broyés avec addition des ajouts pour régulariser la prise du ciment et aussi pour conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différents qualités des ciments cités auparavant (CPJ 35, CPJ 45, Préfa 45, CPJ 55, CPJ 55 Prise Mer, CPA 65..).

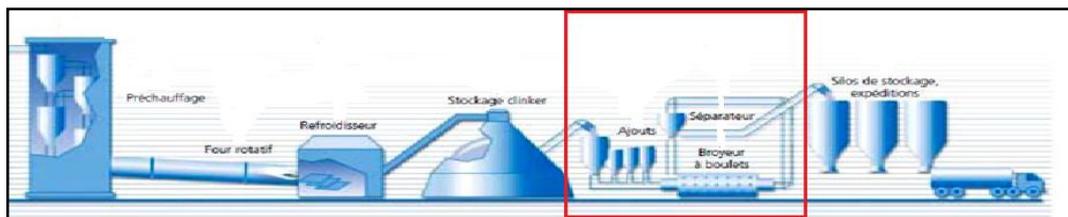


Figure 8 : L'étape de broyage cuit

8) Ensachage et expédition

Le ciment est expédié par des pompes à vis à l'aide des compresseurs d'air vers des silos de stockage du produit fini selon la qualité. L'usine dispose de 10 silos et un 11^{ème} pour la purge pour le BK4. La livraison du ciment s'effectue soit en vrac soit en sac.

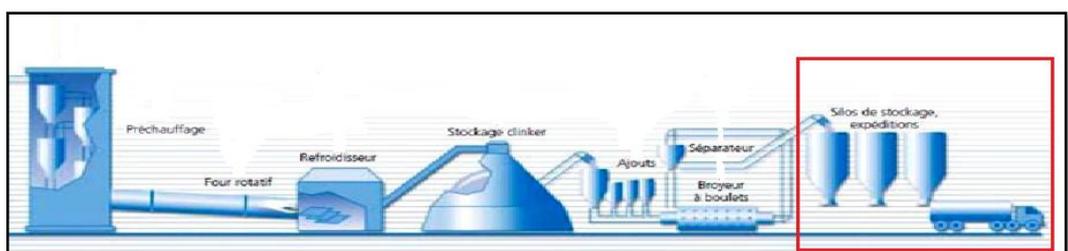


Figure 9 : L'étape d'ensachage

1.4. Présentation de la problématique

1.4.1. Position du problème

Parmi les missions du service Procédés dans Lafarge c'est de maîtriser et réduire les arrêts de production et précisément du broyeur BK4 lors de la production des ciments spéciaux, que ça soit des arrêts liés aux pannes (mécaniques ou électriques) ou à la contrainte de produit fini vis-à-vis la qualité désirée à produire. Cette dernière est due à plusieurs facteurs tels que le changement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure (purge) et la non-conformité du produit fini.

Pour faire face à ce problème, le service Procédés nous a proposé comme sujet l'optimisation du temps d'arrêt de production lors du changement d'une qualité inférieure vers une qualité supérieure.

L'arrêt de broyeur BK4 lors de la purge comporte 3 durées à savoir :

- Temps de réglage : changement des paramètres de marche,
- Temps de purge : démarrage broyeur vers silo purge,
- Temps d'analyse : analyse d'échantillon et prise d'une décision sur la conformité.

1.4.2. Objectif

En se basant sur les données relatives à l'année 2015 concernant la consommation énergétique ainsi que le rapport Ciment/Clinker, nous avons démontré que la purge représente une perte pour la société.

Pendant une année de production il 'y avait 256h de purge qui correspond à une perte de 440 652,198 en KWh/t et de 2 566 873DHs en C/K qui est en total une perte de 3 007 525,2DHs, Les calculs seront détaillés par la suite dans le quatrième chapitre.

De ce fait notre objectif est de chercher des solutions afin d'optimiser le temps de purge qui comporte le temps de réglage, le temps du lancement de la purge et le temps d'analyse pour minimiser les pertes en KWh/t et en C/k.