



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Estimation de l'erreur de la tour d'échantillonnage
dans la qualité du ciment**

Présenté par :

- ◆ **Mr. Mohamed Ihab BENAMER**

Encadré par :

- ◆ **Mr. Hamid EL MANSOURI (Société)**
- ◆ **Pr. El Hadi LAMCHARFI (FST)**

Soutenu Le 15 Juin 2015 devant le jury composé de:

- **Pr. El Mestafa EL HADRAMI**
- **Pr. Bouchaib IHSSANE**
- **Pr. El Hadi LAMCHARFI**

Stage effectué à LAFARGE MEKNES

Année Universitaire 2014 / 2015

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Liste des figures :

– Figure 1 : Organigramme LAFARGE Meknès.....	6
– Figure 2 : Les outils de travail.....	7
– Figure 3 : La chaîne de transformation de calcaire et d’argile en ciment.....	10
– Figure 4 : Les grandes étapes de la fabrication du ciment.....	11
– Figure 5 : Procédé de fabrication du ciment.....	12
– Figure 6 : Ligne du cru.....	12
– Figure 7 : Pré homogénéisation circulaire.....	13
– Figure 8 : Broyeur vertical à galets.....	14
– Figure 9 : Stockage et expédition du ciment.....	16
– Figure 10 : Les principaux points d’échantillonnage de l’usine.....	18
– Figure 11 : La tour d’échantillonnage.....	19
– Figure 12 : A- TAS en construction B- TAS en consommation.....	20
– Figure 13 : Schéma d’alimentation BC1.....	22
– Figure 14 : Suivi qualité de la TE et sortie BC1 (LSF).....	26
– Figure 15 : Les débits d’alimentation de la TE pour le TAS N° 1155.....	29

Liste des tableaux :

– Tableau 1 : Les oxydes majeurs constitutifs du ciment.....	10
– Tableau 2 : Types de ciment et sa composition en clinker.....	11
– Tableau 3 : Analyses échantillon de la tour d’échantillonnage.....	22
– Tableau 4 : Moyenne de la composition chimique du cru à la sortie BC1.....	22
– Tableau 5 : Débits et compositions.....	23
– Tableau 6 : Résultats des deux points d’échantillonnage.....	25
– Tableau 7 : Écart-type de la population en LSF.....	26

Liste des abréviations :

A/F	Module Alumino-ferrique qui règle la proportion massique entre C3A et C4AF.
A₀	Débit de la matière provenant du TAS n°1155.
B₀	La somme des débits du schiste, bauxite et M. de fer.
BC1	Broyeur cru n°1.
C₂S	Silicate bicalcique ou Bélite, est un composant du clinker « 2CaO,SiO ₂ ».
C₃S :	Silicate tricalcique ou Alite, est le constituant principal du clinker « 3CaO.SiO ₂ ».
C₃A	Aluminate Tricalcique, est un composant du clinker « 3CaO.Al ₂ O ₃ ».
C₄AF	Alumino-ferrique tétracalcique ou Ferrite, composant principal du clinker qui a tendance à noircir le ciment « 4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ ».
CADEM	Ciment Artificiel De Meknès.
CPJ	Ciment Portland avec ajout de constituants secondaires.
LSF	Lime Saturation Factor ou FSC (Facteur de saturation en chaux).
M	Débit sortant du broyeur cru n°1.
MS	Module silicique.
P₁	Débit des poussières n°1.
P₂	Débit des poussières n°2.
PH	Pré homogénéisation.
Prvlt	Prélèvement.
TE	Tour d'échantillonnage.

Définitions :

Alumine	Oxyde d'aluminium Al_2O_3 , est un composant majeur du clinker.
Broyage	Opération consistant à réduire un matériau en particules plus fines.
Calcination	Opération par laquelle on modifie la structure d'un corps en le soumettant à une haute température.
Carrière	Lieu d'extraction de matériaux naturels.
Chaux	Oxyde de Calcium CaO , largement connu par "la Chaux", est un composant majeur du clinker.
Ciment	Liant hydraulique composé principalement de chaux, de silice et d'alumine.
Clinker	Granulés obtenus par cuisson à haute température de matières premières contenant la silice, l'alumine, l'oxyde ferrique et la chaux.
Clinkerisation	Est le passage de la matière de l'état de farine crue à l'état de clinker (Cuisson).
Cru	Produit du broyage et du mélangeage des éléments constituant, avant cuisson.
Farine	État du cru après broyage et avant cuisson.
LSF	Le module de saturation en chaux qui présente le rapport entre la masse de la chaux contenu dans le cru par rapport à la chaux théorique nécessaire pour combiner : la silice en C_3S et C_2S , l'oxyde de fer et une partie de l'aluminate en C_4AF et le reste de l'aluminate en C_3A .
MS	Module Silicique qui représente le rapport massique entre les silicates ($C_3S + C_2S$) et l'aluminate et l'alumino-ferrique ($C_3A + C_4AF$).
Oxyde ferrique	Oxyde de fer Fe_2O_3 , est un composant majeur du clinker.
Pré calcinateur	Conteneur qui sert au préchauffage du cru avant son introduction au four
Silice	Oxyde de Silicium SiO_2 , largement connu par " Silice", est un composant majeur du clinker.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise :	3
I. Le groupe LAFARGE :	4
II. LAFARGE Maroc :	4
III. Usine de Meknès :	4
1. Dates et chiffres clés :	5
2. Les équipements de l'usine :	5
3. Organigramme de l'usine de Meknès :	6
IV. Présentation des services :	6
1. Service carrière :	6
2. Service fabrication :	6
3. Service procédés :	7
4. Service de contrôle de qualité :	7
5. Service de sécurité :	7
6. Service maintenance mécanique :	8
7. Service maintenance électrique :	8
8. Service commercial :	8
Chapitre 2 : Procédé de fabrication du ciment	8
I. Ciment :	10
1. Définition du ciment :	10
2. Les différents types de ciments :	11
II. Les étapes de la fabrication du ciment :	11
III. Le procédé de fabrication :	12
1. Préparation du cru :	12
a. Carrière :	13
b. Concassage :	13
c. Pré homogénéisation :	13
d. Broyage cru :	14
e. Homogénéisation :	14
2. La cuisson :	15
a. Préchauffage :	15
b. Four rotatif :	15
c. Le refroidissement :	15
3. Broyeur à boulets :	16

4.	Stockage et expédition (Ensachage) :	16
a.	Stockage du ciment :	16
b.	Expédition :	16
	Chapitre 3 : Réalisation du projet	17
I.	Problématique :	17
II.	Echantillonnage :	18
1.	Définition et but :	18
2.	Procédés :	19
a.	Carrière et concassage :	19
b.	La tour d'échantillonnage :	19
c.	Pré homogénéisation :	20
d.	Broyeur cru :	21
3.	Analyses tour d'échantillonnage (TE) :	21
4.	Composition chimique sortie BC1 :	22
5.	Composition chimique de la PH :	22
a.	Application :	23
b.	Calcul des modules :	24
6.	Résultats :	25
	Interprétation :	25
III.	Etude d'une population :	26
1.	Commentaire :	27
2.	Problèmes :	27
3.	Vérifications :	27
a.	Tour d'échantillonnage :	27
b.	Broyeur cru :	28
c.	Alimentation TE :	29
4.	Constatations :	29
5.	Actions :	29
	Conclusion	30

INTRODUCTION

LAFARGE ciment du Maroc est une industrie de poids du fait qu'elle produit près du tiers de la capacité de production totale du secteur.

Étant le leader dans son domaine, LAFARGE Ciment usine de Meknès s'est considérablement développée ces dernières années et s'est affirmée comme grand producteur de qualité.

Ainsi l'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication pour produire un ciment de très bonne qualité avec un coût bien raisonnable.

Dans ce cadre, ma mission de stagiaire au sein de cette entreprise était de comprendre le fonctionnement de la tour d'échantillonnage, et de déterminer les erreurs qui peuvent influencer la qualité de la matière première (ciment).

De ce fait, nous avons donné tout d'abord un petit aperçu sur les grandes lignes du procédé de fabrication du ciment, en particulier pour la tour d'échantillonnage.

Avant-propos

La période de mon stage au sein de Lafarge Ciments usine du Meknès, a été pour moi une expérience très enrichissante sur le plan intellectuel, relationnel et pratique.

Sur le plan relationnel, je me suis intégrée aux équipes appartenant aux différents services de l'entreprise, puisque j'ai pu effectuer avec les cadres, chefs des équipes et techniciens plusieurs visites qui se sont déroulés dans les meilleures conditions.

Sur le plan intellectuel, j'ai été amenée à faire des recherches, à consulter des documents, à échanger positivement, à partager des points de vue avec différents cadres (responsables des postes, chefs des équipes et techniciens) de l'entreprise.

Sur le plan pratique, j'ai pu concrétiser certaines connaissances acquises lors de ma formation suivie en génie chimique.

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise :



I. Le groupe LAFARGE :

Créé en 1833, le Groupe Lafarge est aujourd'hui le leader mondial des matériaux de construction :

- N°1 mondial du Ciment et de la Toiture.
- N°2 des Granulats & Béton.
- N°3 du Plâtre.

En 2002, le groupe, fort de 77 000 collaborateurs et d'un chiffre d'affaires de 14,6 milliards d'euros, est présent dans 75 pays. La croissance de Lafarge a été particulièrement forte dans les pays en développement.



II. LAFARGE Maroc :

En 1930, Lafarge s'implanta au Maroc en créant la première cimenterie du pays à Casablanca, principal marché jusqu'à lors de consommation de ciments. Quelques années plus tard, le groupe se développe et crée une 2ème cimenterie à Meknès entre 1982 et 1984 ainsi que deux autres cimenteries au Nord du pays (Tétouan et Tanger), une usine de plâtre à Safi, et neuf centrales à béton.

Il fallait attendre le 10 juin 1995 pour que la naissance du groupe Lafarge Maroc voit le jour lors de la signature d'une convention de partenariat entre la SNI (Société Nationale d'Investissement) et le groupe Lafarge qui aboutit à la mise en œuvre d'un holding (50% Lafarge et 50% SNI).

Pour conserver son leadership au Maroc, Lafarge a opté pour une stratégie d'investissement, de management et de contrôle de qualité très pointu.

III. Usine de Meknès :

Créée en 1950, la société des Ciments Artificiels De Meknès (CADEM) située au Nord-Est de la ville représente de nos jours la 4^{ème} ville marocaine sur l'échelle économique grâce à la présence d'un secteur industriel que LAFARGE-Ciments fait partie. Depuis 1997, la CADEM, est devenue LAFARGE CEMENTS et faisait partie du groupe international LAFARGE.

1. Dates et chiffres clés :

1953 : Démarrage du premier four, en voie humide, 400 t/j

1971 : Extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t/j et augmentation de la capacité broyage ciment à 650.000 t

1978 : Nouvelle extension du broyage ciment

1985 : Conversion du four 1 en voie sèche avec installation d'un mini pré-calciateur.

1993 : Nouvelle extension avec démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1200 t/j de clinker.

1998 : Modification du pré-calciateur du four 1

2001 : Installation d'un nouveau broyeur ciment portant la capacité de l'usine à 1.750.000 t

2002 : Certification ISO 14001

2003/2004 :

- Mise à jour de la nouvelle installation du projet d'extension du stockage et d'ensachage du ciment.

Cet aménagement a été accompagné par une démarche d'automatisation et d'un système de contrôle commande.

- Mise à niveau d'une installation d'incinération de pneus déchiquetés au niveau BAF ligne 2

2004/2005 :

- Lancement d'une nouvelle organisation Usine/Secteur.
- Certification ISO 9001

2. Les équipements de l'usine :

- 2 lignes de cuisson en voie sèche avec conduite entièrement automatisée pilotée par un système expert.
- 3 broyeurs ciment d'une capacité totale annuelle de 1.750.000 tonnes.
- Laboratoire d'analyse permettant d'assurer une logique de contrôle qualité aux différentes étapes de la fabrication.
- Stockage ciment : 7 silos d'une capacité totale de 22.000 t
- Atelier d'expédition sac et vrac.
- Embranchement particulier à la voie ferrée.

3. Organigramme de l'usine de Meknès :

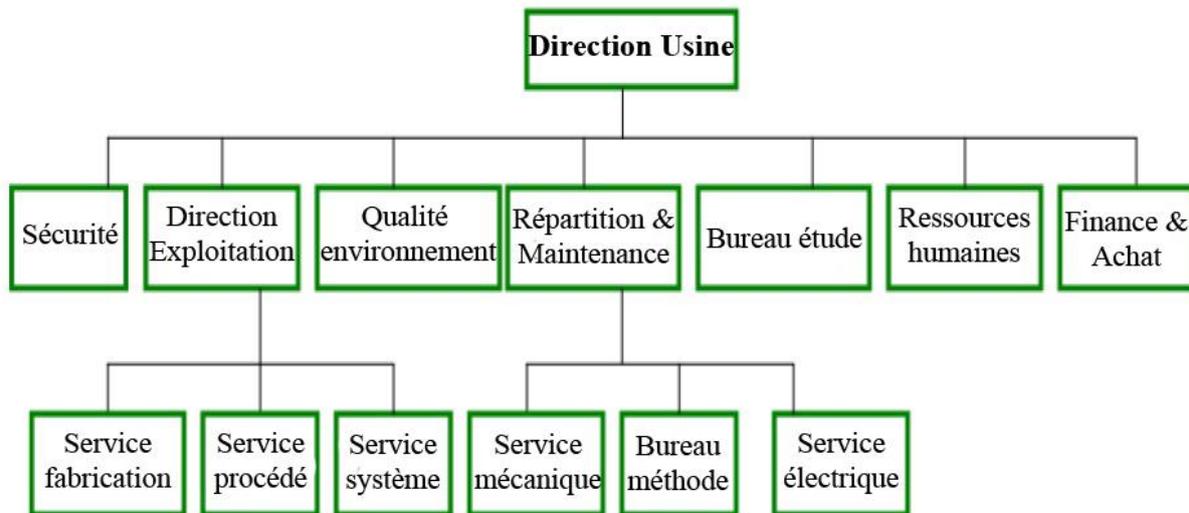


Figure 1 : Organigramme LAFARGE Meknès.

IV. Présentation des services :

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches.

1. Service carrière :

Il permet l'approvisionnement en matières premières carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur appelé HAZMAG. Les matières sont ensuite acheminées par un transporteur de 5km appelé CURVODUC.

2. Service fabrication :

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnent automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurant la production 24h/24h.

3. Service procédés :

Il a pour tâche principale l'optimisation des procédés/performance par l'analyse des dysfonctionnements du processus, le suivi des indicateurs de performance, les consignes du processus, l'audit et la proposition des améliorations ainsi que la gestion par l'informatique industrielle.

4. Service de contrôle de qualité :

L'usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Ce laboratoire est divisé en plusieurs départements, agencés de telle sorte à assurer une bonne réception, identification, et conservation des échantillons tous les essais.

5. Service de sécurité :

Il est le moteur pour la réalisation et l'encadrement de l'effectifs de l'usine pour produire un ciment avec un objectif de zéro accident, il a pour mission l'animation de la sécurité, le soutien de la hiérarchie en matière de sécurité, l'animation d'un comité de sécurité usine, instauration des procédures de sécurité, le reporting sécurité et la gestion du réseau sécurité inter usines. Voir figure 2.

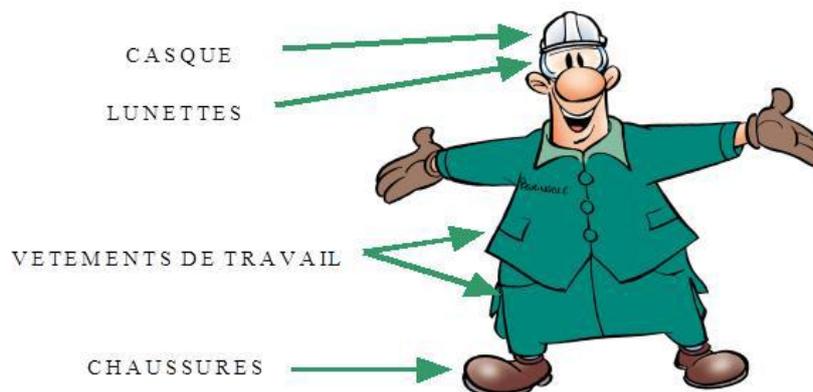


Figure 2 : Les outils de travail.

6. Service maintenance mécanique :

A pour mission principale la réalisation des procédures de travail, de l'organisation des équipes et de la qualité d'exécution. Il veille ainsi au respect du rapport Coût / Budget et de la sécurité / Environnement.

7. Service maintenance électrique :

Se charge de la réalisation des opérations d'entretien électrique. Il est garant de la fiabilité électrique et des instrumentations, des procédures de travail, de l'organisation des équipes, de la qualité d'exécution.

8. Service commercial :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments à une clientèle bien identifiée. Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

Chapitre 2 : Procédé de fabrication du ciment



I. Ciment :

1. Définition du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Notations cimentières des oxydes majeurs constitutifs du ciment :

Nom	Symbole chimique	Symbole cimentier
Chaux	CaO	C
Silice	SiO ₂	S
Alumine	Al ₂ O ₃	A
Oxyde ferrique	Fe ₂ O ₃	F

Tableau 1 : Les oxydes majeurs constitutifs du ciment.

Le ciment est un mélange de matières premières tel que le calcaire et d'argile ou de toutes matières renfermant essentiellement de la chaux, de la silice, de l'alumine, et de l'oxyde ferrique. Voir figure 3.



Figure 3 : La chaîne de transformation de calcaire et d'argile en ciment.

2. Les différents types de ciments :

Il existe un grand nombre de catégories de ciment. Lafarge Maroc s'intéresse à la fabrication des trois catégories de ciments, à savoir : CPJ35, CPJ45 et CPA55.

Ces trois types de ciments se différencient selon les pourcentages précis des ajouts en clinker selon le tableau 2 suivant :

	CPJ35	CPJ45	CPA55
Calcaire	35.60%	24.00%	0.00%
Cendres volantes	3.21%	6.52%	0.00%
Gypse	2.80%	3.14%	5.64%
Clinker	58.39%	66.34%	94.36%

Tableau 2 : Types de ciment et sa composition en clinker.

II. Les étapes de la fabrication du ciment :

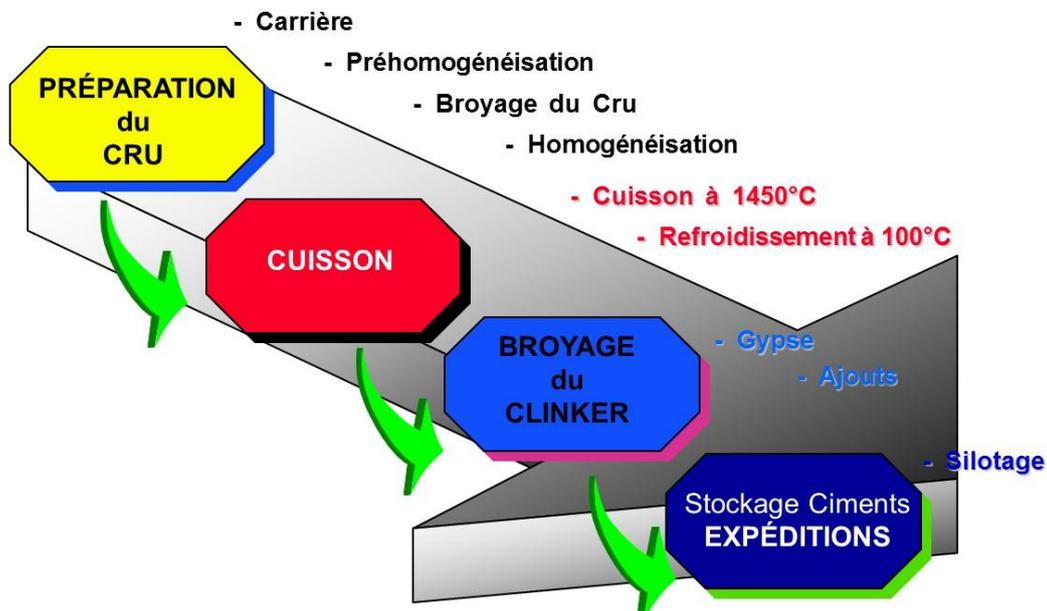


Figure 4 : Les grandes étapes de la fabrication du ciment.

III. Le procédé de fabrication :

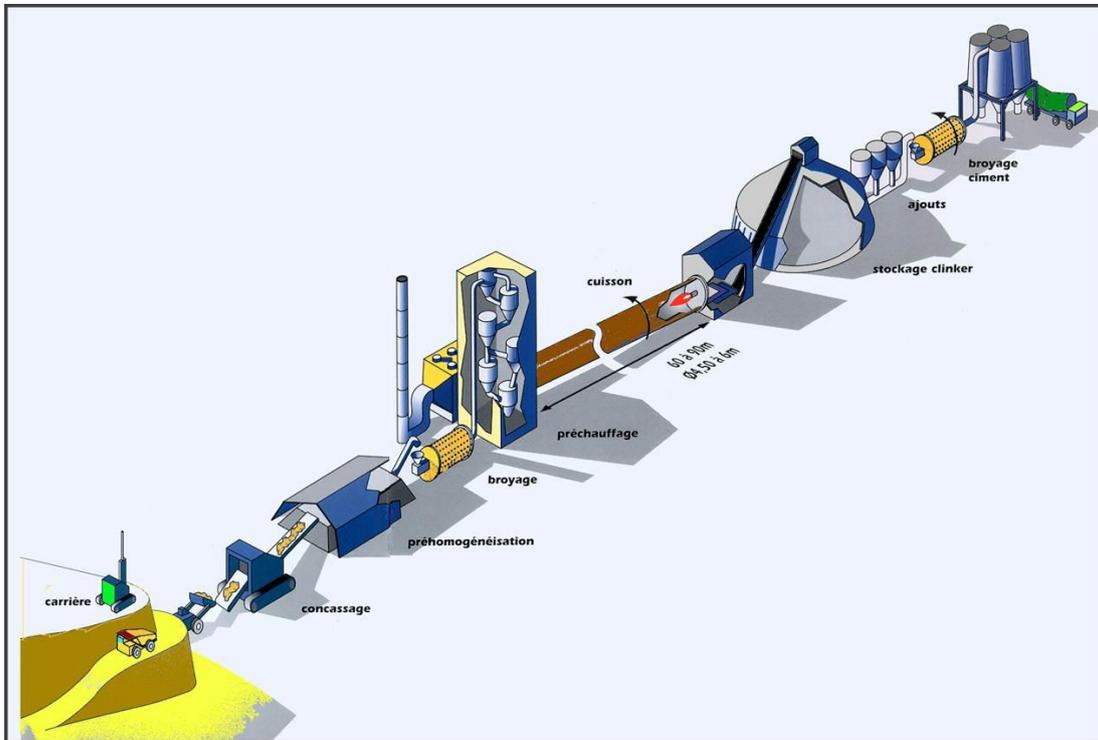


Figure 5 : Procédé de fabrication du ciment.

1. Préparation du cru :

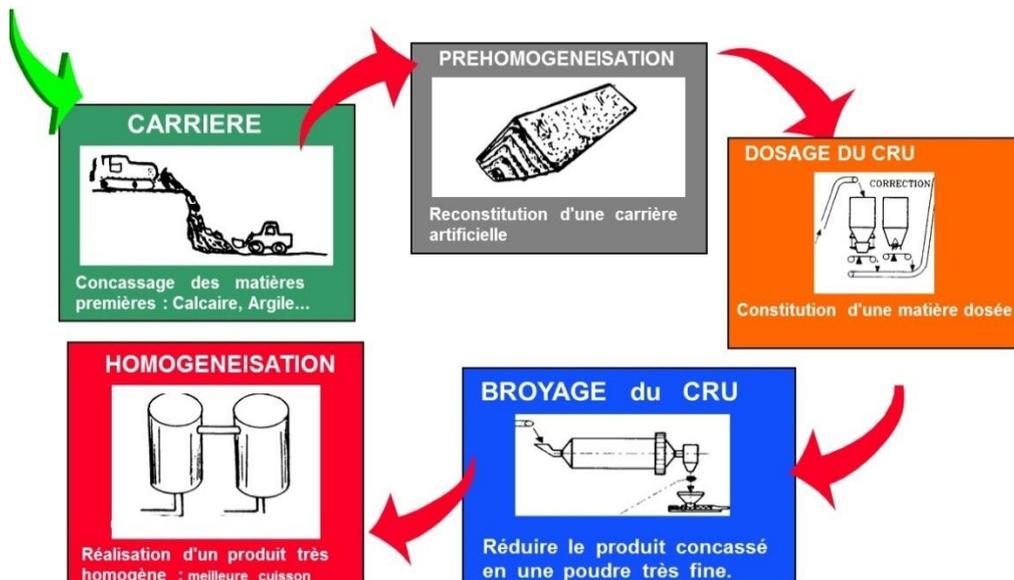


Figure 6 : Ligne du cru.

a. Carrière :

Elle est située à 5km de l'usine, d'une superficie de 100 ha. Son exploitation a débuté 1978, les réserves actuelles de calcaire sont estimées à 9 000 000 tonnes, ou la matière première représente une réserve de 20 ans au rythme.

Actuelle de production, l'exploitation de la carrière zone 4 se fait par abattage à l'explosif.

b. Concassage :

L'opération de concassage a pour objectif la réduction des blocs de pierres en fragments de faibles dimensions (25 mm à 40 mm) cette opération est assurée par un concasseur à marteaux (FCB) ou à mâchoire (HAZEMAG), la matière sortant du concasseur est acheminée vers un hall de stockage par un convoyeur à bande.

c. Pré homogénéisation :

La Pré homogénéisation constitue un mode de stockage qui permet de construire un TAS de matière pré dose à partir des différentes matières concassées. Son objectif principal est d'avoir un stock aussi régulier que possible à la reprise. L'usine dispose actuellement de deux pré homos polaires à chevrons, de capacité 18 000 tonnes chacun. Voir figure 7.

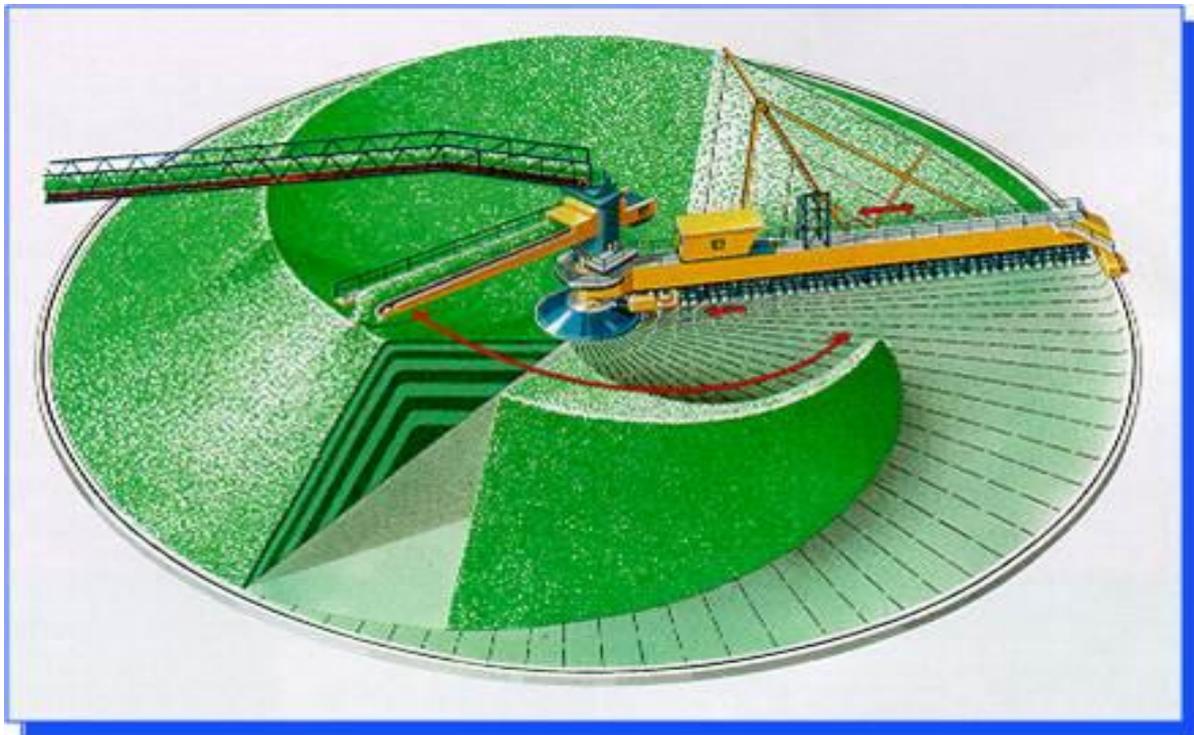


Figure 7 : PH circulaire.

d. Broyage cru :

Le cru est réduit en poudre (farine) dans deux broyeurs verticaux à trois galets. Avant le broyage de la matière, on procède souvent à des ajouts en constituants secondaires (schiste, minerai de fer, calcaire de correction...) à travers des trémies entrée. La matière et les ajouts passent ensuite dans un atelier broyage dont l'objectif est d'atteindre la finesse souhaitée.

Après écrasement de la matière entre la piste et les galets, un flux de gaz chaud provenant du four assure le séchage et le transport pneumatique de la matière, un séparateur intégré à la machine permet de régler la finesse du produit final. Voir figure 8.

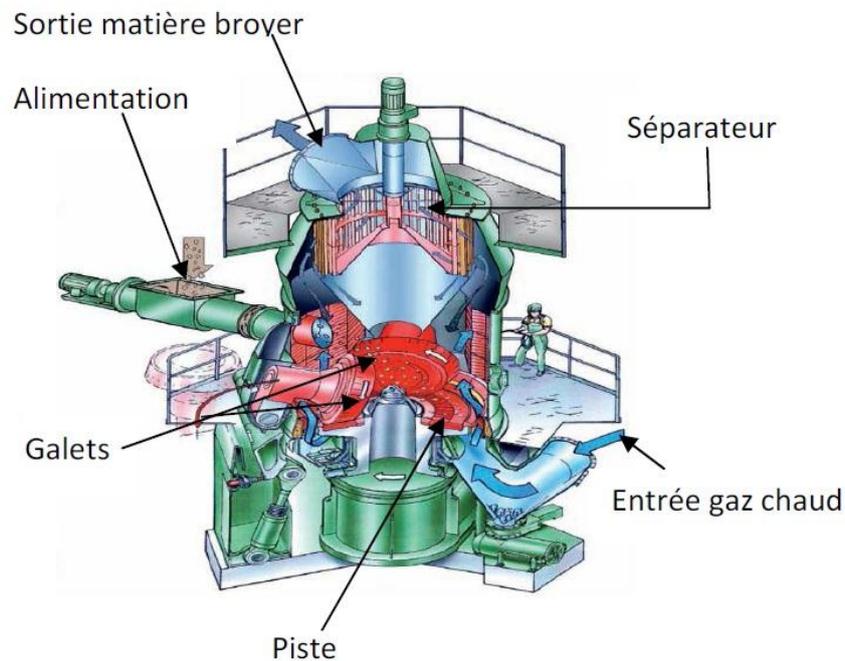


Figure 8 : Broyeur vertical à galets.

e. Homogénéisation :

Deux tours d'homogénéisation assurent le mélange et le stockage de la farine après broyage et avant cuisson. La farine est acheminée au silo d'homogénéisation par des aéroglisteurs. Le silo de la ligne 1 a une capacité de 8000 tonnes, alors que celle de la ligne 2 est de 7000 tonnes. Ces deux silos assurent à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine. L'extraction de la farine se fait de trois points, et ce d'une manière cyclique.

2. La cuisson :

a. Préchauffage :

L'opération commence par l'évaporation de l'eau que le mélange cru contient et se poursuit par la décarbonatation. Le préchauffage se fait dans une série de cyclones, disposés verticalement sur plusieurs étages, appelée " Préchauffeur". La matière froide, introduite dans la partie supérieure, se réchauffe au contact des gaz. D'étage en étage, elle arrive partiellement décarbonatée, jusqu'à l'étage inférieur, à la température d'environ 800°C.

b. Four rotatif :

À la sortie de la tour la farine arrive dans le four où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation : la clinkérisation qui commence de 1200°C à 1450°C, l'alimentation en farine est située à l'extrémité opposée de la flamme.

En théorie, cette réaction s'arrête lorsqu'il n'y a plus de chaux disponible. Mais en réalité il reste toujours de la chaux non combinée (chaux libre).

La matière sortant du four est le clinker.

L'usine de Meknès dispose de deux fours qui travaillent en continue, le premier four est de 93m, le deuxième est de 63m.

c. Le refroidissement :

Il est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales au nombre deux à commande hydraulique. Le refroidissement est assuré par des ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

Le refroidisseur à trois rôles :

- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de chaleur contenue dans le clinker.
- Protéger le matériel en amont.

3. Broyeur à boulets :

Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de gypse. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Le pourcentage du clinker permet de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ35 ; CPJ45 ; CPA55).

Le ciment fini est orienté vers les silos de stockage et de livraison.

4. Stockage et expédition (Ensachage) :

a. Stockage du ciment :

Après sa fabrication, le ciment est acheminé, par voies pneumatiques ou mécaniques, vers des silos de stockage dont la capacité est de plusieurs milliers de tonnes.

b. Expédition :

Le ciment est expédié vers les lieux de consommations sous deux formes, voir figure 9 :

- **En sac :** Les sacs contiennent généralement 25 ou 50 Kg de ciment sur lesquels est marquée la classe de résistance du ciment (35 ou 45).
- **En vrac :** La livraison du ciment en vrac se fait sur des citernes. Le ciment est injecté avec l'air dans la citerne jusqu'à ce que le tonnage soit atteint.

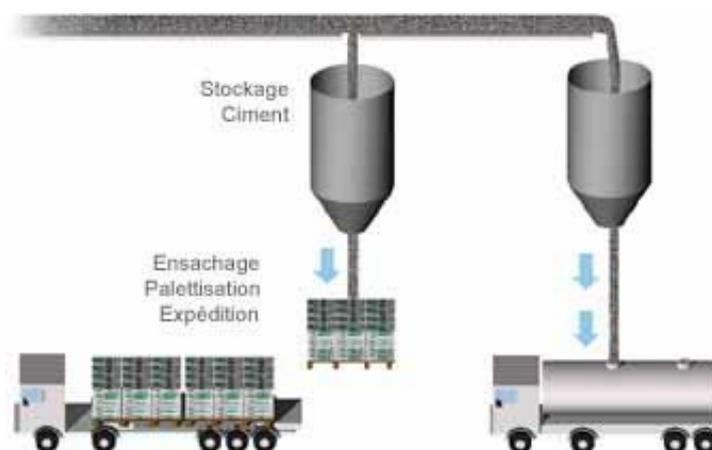


Figure 9 : Stockage et expédition.

Chapitre 3 :

Réalisation du projet.

I. Problématique :

L'échantillonnage est une étape essentielle qui se situe entre le concassage et le broyage du cru. Son but consiste, à partir d'un lot de production, d'en prélever une partie, appelé échantillon, considéré représentative de la totalité vis-à-vis des critères de qualités fixés.

II. Échantillonnage :

1. Définition et but :

Pendant ce stage, la mission qui m'a été accordé est de faire la comparaison entre la composition de l'échantillon prélevé à la tour d'échantillonnage et l'échantillon prélevé à la sortie du broyeur cru 1 et corriger l'erreur. Voir figure 10.

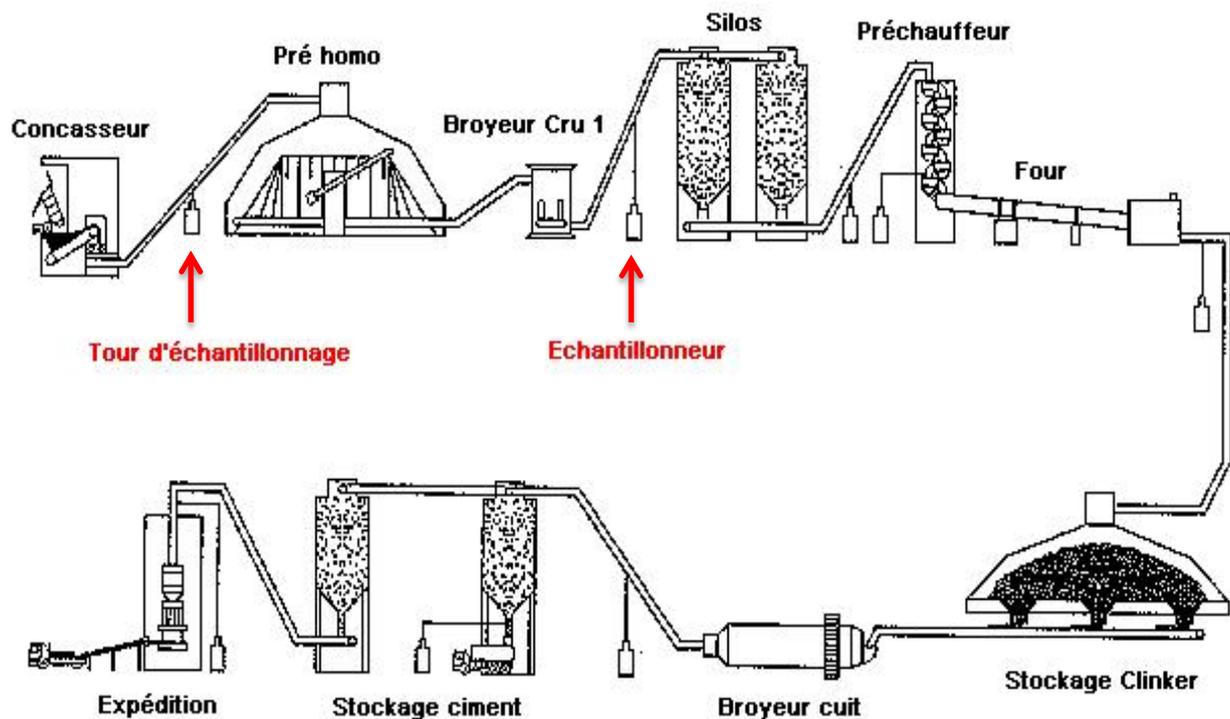


Figure 10 : Les principaux points d'échantillonnage.

2. Procédés :

a. Carrière et concassage :

Les blocs de calcaire exploités par abattage à l'explosif sont ramenés vers un concasseur pour réduire leurs tailles et pour que le prélèvement des roches soit fait par le préleveur 1 qui représente un diamètre précis.

b. La tour d'échantillonnage :

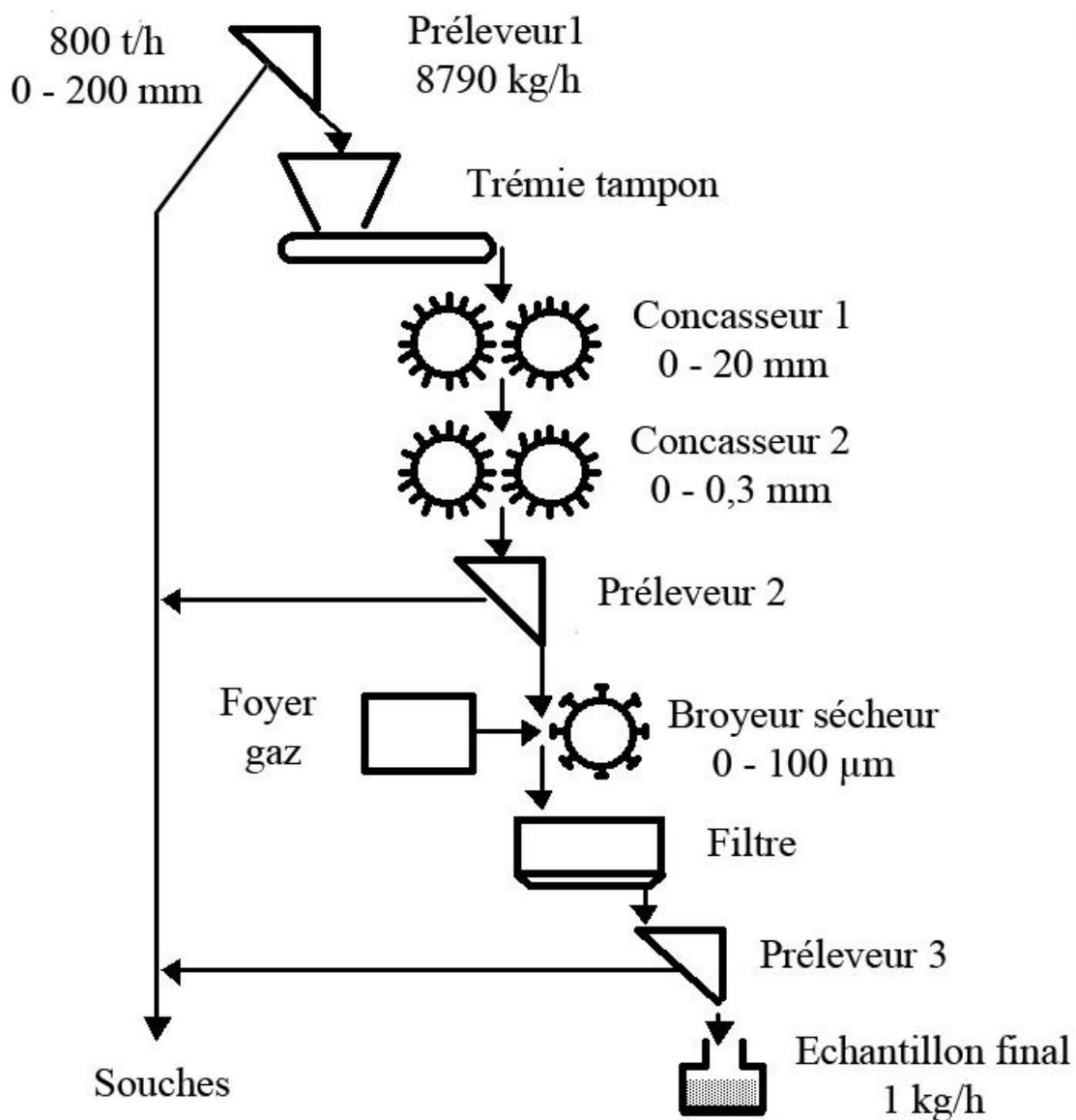


Figure 11 : La tour d'échantillonnage.

Pour déterminer la classe de qualité de la matière première, l'usine de Meknès est équipée d'une tour d'échantillonnage de type ITECA à 4 étages, constituée de trois préleveurs, qui dévient une partie du flux vers le circuit de la tour, puis de deux concasseurs pour réduire la granulométrie de la matière échantillonnée. Cette tour permet d'obtenir en continu un échantillon de 1kg de matière prélevée à la sortie du préleveur tertiaire pour chaque lot de 1500 tonnes. Voir figure 11.

c. Pré homogénéisation :

La pré homogénéisation a pour but de stocker et de mélanger les matières de la carrière concassées sous forme de TAS. Un TAS se confectionne en superposant les calcaires et les argiles afin d'obtenir une répartition quasi uniforme. Il est en général constitué de deux TAS un en construction et l'autre en consommation.

L'extraction de la matière est faite par un gratteur (transporteur à godets), la matière est raclee par des herse au niveau de toute la surface d'attaque du TAS. Ce raclage permet d'avoir un mélange homogène, appelé cru dosé, de l'ensemble des cordons réalisés lors de la constitution du TAS. La matière est envoyée par un ensemble de transporteurs jusqu'à la trémie cru dosé du broyeur cru. Voir figure 12.

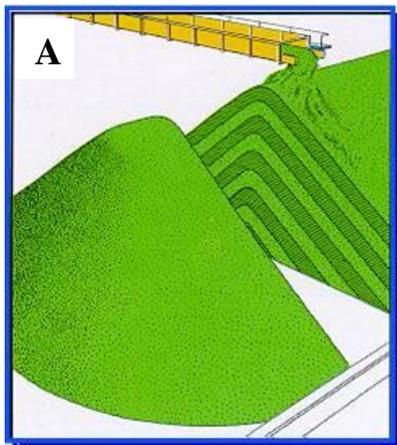
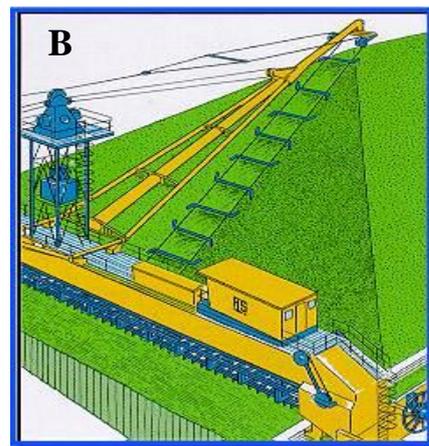


Figure12 : A- TAS en construction.



B- TAS en consommation.

d. Broyeur cru :

Le broyeur a pour but de réduire la granulométrie pour une meilleure réactivité dans le four, il maintient aussi le séchage et le mélange de la matière.

La préparation du cru consiste à mélanger et broyer les matières premières de manière à obtenir un produit ayant une composition et une finesse prédéfinie. Une préparation optimale du cru pour la fabrication du ciment consiste à alimenter la ligne de cuisson avec une farine dont la qualité et l'homogénéité permettent une production économique de ciments de haute qualité.

À la fin du broyage, on récupère un échantillon pour l'analyser et évaluer la qualité finale du cru grâce à des modules, c'est-à-dire des valeurs calculées à partir de la composition chimique :

- Le module de saturation en chaux (LSF) :

$$LSF = \frac{100 \cdot CaO}{2,80 \cdot SiO_2 + 1,18 \cdot Al_2O_3 + 0,65 \cdot Fe_2O_3}$$

- Le module silicique (MS) :

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

- Le module alumino-ferrique (A/F) :

$$A/F = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

3. Analyses tour d'échantillonnage (TE) :

L'échantillon récupéré à la fin du cycle de la TE a été analysé par des techniciens au niveau du laboratoire du contrôle de qualité.

N° TAS	Date de fin	LSF	MS	A/F
1155	27/03/2015	115,66	3,04	2,28

Tableau 3 : Analyses tour d'échantillonnage.

4. Composition chimique sortie BC1 :

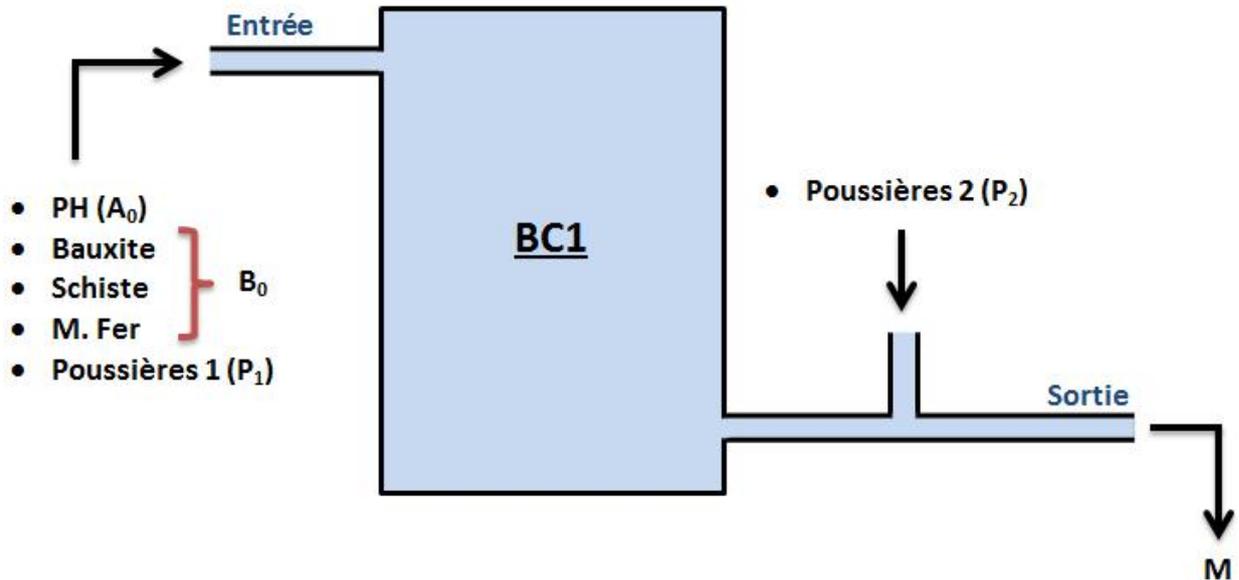


Figure 13 : Schéma d'alimentation BC1

Les analyses chimiques de l'échantillon sont réalisées par des techniciens spécialisés avec tous les équipements et les appareils de mesure qui qualifient les éléments chimiques présents dans l'échantillon. Cette étape se réalise chaque les deux heures.

Composés chimique	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Moyenne	3,34	13,28	1,94	43,73

Tableau 4 : Moyenne de la composition chimique du TAS n°1155

5. Composition chimique de la PH :

	Débit (t/h)	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%Cao

PH (A ₀)	168,84	X _{Al2O3}	X _{SiO2}	X _{Fe2O3}	X _{CaO}
Schiste	2,86	19,76	56,57	7,22	1,28
Bauxite	0,22	50,11	10,44	15,09	3,85
M. de Fer	2,37	5,9	39,26	44	1,17
Poussières 1 (P ₁)	6,26	2,91	8,32	1,53	46,45
Poussières 2 (P ₂)	19,75	2,91	8,32	1,53	46,45
Sortie (M)	196,06	3,34	13,28	1,94	43,73

Tableau 5 : Débits et compositions.

a. Application :

Bilan global : $A_0 + B_0 + P_1 + P_2 = M$

Bilan spécifique : $A_0 \cdot X_{A0} + B_0 \cdot X_{B0} + P_1 \cdot X_{P1} + P_2 \cdot X_{P2} = M \cdot X_M$

→
$$X_{A0} = \frac{M \cdot X_M - B_0 \cdot X_{B0} - P_1 \cdot X_{P1} - P_2 \cdot X_{P2}}{A_0}$$

Avec : $B_0 = \text{Schiste} + \text{Bauxite} + \text{M. de Fer}$

- **Composition de la PH en bauxite (Al_2O_3) :**

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{(196,06 \times 3,34) - [(2,86 \times 19,76) + (0,22 \times 50,11) + (2,37 \times 5,9)] - (6,26 \times 2,91) - (19,75 \times 2,91)}{168,84}$$

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2,95 \%$$

- **Composition de la PH en silice (SiO_2) :**

$$X_{\text{SiO}_2} = \frac{(196,06 \times 13,28) - [(2,86 \times 56,57) + (0,22 \times 10,44) + (2,37 \times 39,26)] - (6,26 \times 8,32) - (19,75 \times 8,32)}{168,84}$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 12,61\%$$

- **Composition de la PH en ferrite (Fe_2O_3) :**

$$X_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{(196,06 \times 1,94) - [(2,86 \times 7,22) + (0,22 \times 15,09) + (2,37 \times 44)] - (6,26 \times 1,53) - (19,75 \times 1,53)}{168,84}$$

$$X_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,26\%$$

- **Composition de la PH en chaux (CaO) :**

$$X_{\text{CaO}} = \frac{(196,06 \times 43,73) - [(2,86 \times 1,28) + (0,22 \times 3,85) + (2,37 \times 1,17)] - (6,26 \times 46,45) - (19,75 \times 46,45)}{168,84}$$

$$X_{\text{CaO}} = 43,58\%$$

b. Calcul des modules :

- **Module de saturation en chaux à la sortie BC1 (LSF) :**

$$LSF = \frac{100 \times 43,58}{(2,8 \times 12,61) + (1,18 \times 2,95) + (0,65 \times 1,26)}$$

$$LSF = 110,03$$

- **Module silicique à la sortie BC1 (MS) :**

$$MS = \frac{12,61}{2,95 + 1,26}$$

$$MS = 3$$

- **Module alumine-ferrique à la sortie BC1 (A/F) :**

$$A/F = \frac{2,95}{1,26}$$

$$A/F = 2,34$$

6. Résultats :

Analyses TE			Calcul BC1		
LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F
115,66	3,04	2,28	110,03	3	2,34

Tableau 6 : Résultats des deux points d'échantillonnage.

Interprétation :

Les résultats du tableau 4 montrent qu'il y a une différence entre la valeur LSF de la TE et la valeur LSF calculé à la sortie BC1, ce qui implique le mauvais fonctionnement de la TE.

III. Étude d'une population :

L'étude a été faite sur une population de trois ans qui présente plusieurs TAS, et les calculs ont été réalisés comme l'exemple donné précédemment pour le TAS n°1155.

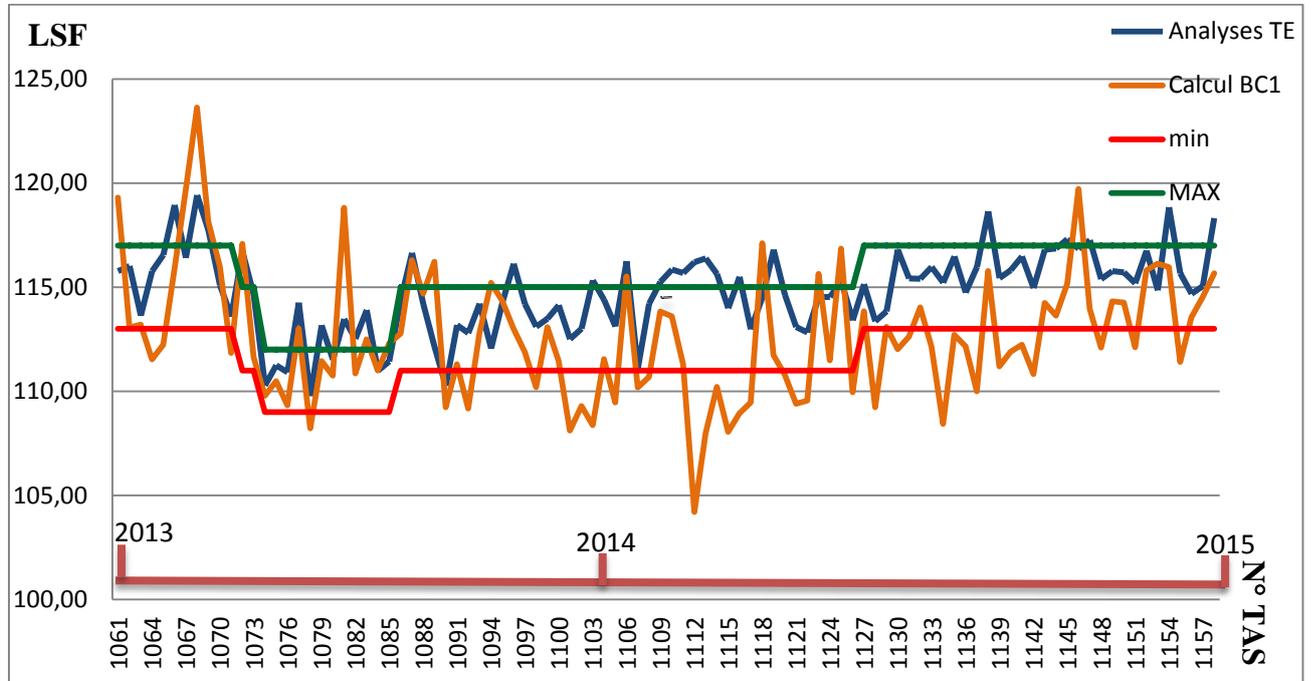


Figure 14 : Suivi qualité de la TE et sortie BC1 (La valeur LSF en fonction des N° de TAS)

Écart-type	2,81
------------	------

Tableau 7 : Écart-type de la population pour LSF.

1. Commentaire :

Le graphe nous montre une variation du module LSF par rapport à la TE et à la sortie BC1.

À partir du TAS N°1094, on remarque qu'il y a une différence remarquable entre les deux courbes des analyses TE et du calcul BC1.

2. Problèmes :

- **Problématique 1 :** Le problème est lié à la tour d'échantillonnage au niveau des préleveurs et des concasseurs.
- **Problématique 2 :** Le problème est lié à la variation du débit qui alimente la TE.
- **problématique 3 :** Le problème est lié au broyeur cru.

3. Vérifications :

a. Tour d'échantillonnage :

● Préleveur primaire :

	Contrôles	Spécifications
Temps de passage	2,90 s	3 s
Vitesse	454,54 mm/s	400 mm/s
Fréquence de prélèvement	42 prlvt/h	40 prlvt/h
Vitesse tapis d'alimentation	23 mm/s	15 mm/s
Temps de pause	81,4 s	80 s

● Préleveur secondaire :

	Contrôles	Spécifications
Temps de passage	3,20 s	3,36 s
Vitesse	178 mm/s	150 mm/s
Fréquence de prélèvement	60 prlvt/h	60 prlvt/h
Temps de pause	56,15 s	56,64 s

● Préleveur tertiaire :

	Contrôle	Spécification
Vitesse de rotation	13 tr/min	13 tr/min

● Concasseur primaire :

	Contrôle	Spécification
Granulométrie à 40 mm	1,57%	< 5%

● Concasseur secondaire :

	Contrôle	Spécification
Granulométrie à 12,5 mm	17,60%	0%

b. Broyeur cru :

L'échantillon récupéré à la sortie du BC1 est considéré plus efficace que celui récupéré à la TE, car la matière obtenue est une farine au contraire à celle de la TE qui contient des grains plus ou moins grandes.

c. Alimentation TE :

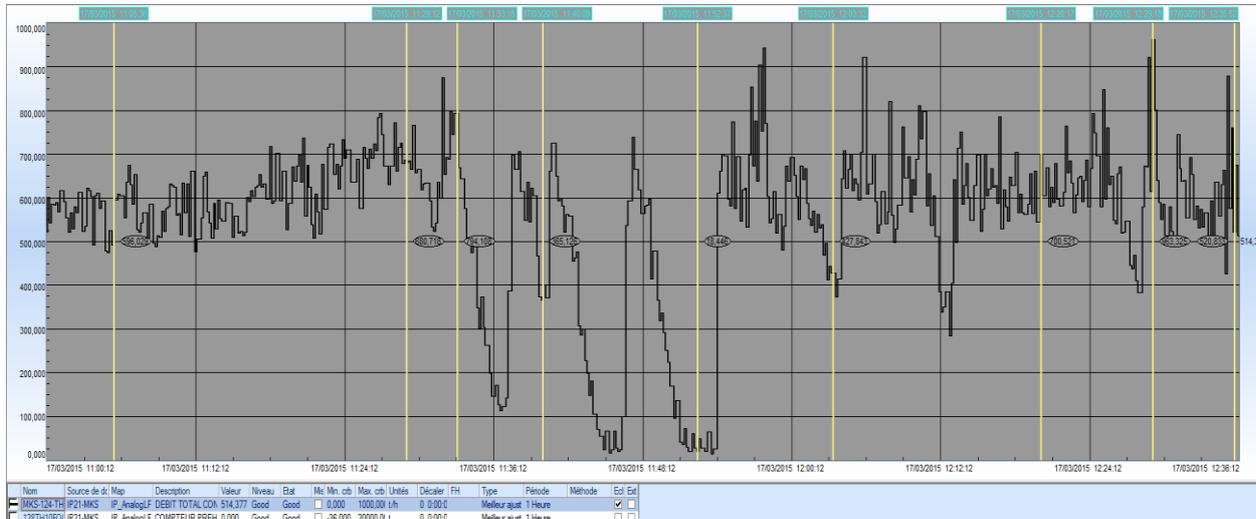


Figure 15 : Les débits alimentant la TE pour le TAS n°1155

4. Constatations :

D'après les contrôles qu'on a réalisés, on a constaté que le problème faveur et celui du débit alimentant la tour d'échantillonnage, ainsi la matière récupérée à la sortie du concasseur secondaire à une granulométrie grande par rapport à la bouche du préleveur secondaire qui causera le colmatage de ce dernier. Finalement, la matière concassé ramené de la carrière et qui alimente la tour d'échantillonnage il est humide ce qui causera aussi le colmatage du préleveur primaire.

5. Actions :

- **Proposition 1 :** Installer une trémie tampon pour bien contrôler le débit qui alimente la tour d'échantillonnage.
- **Proposition 2 :** Installer des résistances chauffantes au niveau du préleveur primaire pour sécher la matière colmaté.
- **Proposition 3 :** Faire des réglages au niveau des deux tambours du concasseur secondaire pour réduire le jeu entre ces derniers, afin de réduire la granulométrie de la matière concassée.

Conclusion

Au cours ce stage, j'ai pu mettre en application des notions que j'ai acquis durant ma formation, de les développer et aussi d'avoir de nouvelles connaissances dans le domaine procédé, que j'ai essayé de mieux approcher, et de formaliser dans ce modeste rapport.

Le procédé de fabrication du ciment consiste à suivre le produit depuis la matière première jusqu'à l'expédition, ainsi que les machines de la carrière et les appareils des analyses au laboratoire.

La tour d'échantillonnage ne fait que nous donner un échantillon du lot de la matière première provenant de la carrière, ses multiples étages servent à préparer un échantillon pour l'analyse et comparaison à celui récupéré à la sortie du broyeur cru 1.

Cet échantillon représentatif du lot doit respecter plusieurs règles pour le bon fonctionnement de la tour d'échantillonnage, on peut citer :

- ✓ Le débit d'alimentation du préleveur primaire doit être constant, car il permet d'annuler l'erreur de fluctuation de débit et de donner à chacun des prélèvements unitaires le même poids dans le mélange pour l'échantillon final.
- ✓ L'ouverture du préleveur doit être trois fois plus supérieure que le diamètre de la plus grosse particule. Si l'ouverture est petite, les grosses particules seront sélectionnées plus difficilement que les petites. Donc il faut une ouverture suffisante pour éviter l'erreur de prise.
- ✓ La vitesse des préleveurs doit être constante, car cela va assurer une vitesse relative du préleveur par rapport au flux et donc l'équiprobabilité de sélection des particules. Cette vitesse doit être comprise entre 0,1 et 0,4 m/s.

Au terme de ce travail, nous pouvons conclure que LAFARGE Usine de Meknès dispose d'un système puissant de commande et de gestion de tous ses ateliers, mais malgré ce suivi quotidien, il faut toujours penser à contrôler chaque installation afin d'assurer un très bon déroulement et une meilleure exploitation de ces équipements et ressources.

Annexe

N° TAS	Fin de Reprise	Analyse TE			Calcul BC1			Cibles PH1		
		LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F	LSF	MS	A/F
1061	08/01/2013	115,76	3,06	2,16	119,32	3,02	2,06	115	3,10	2,20
1062	15/01/2013	116,01	3,10	2,12	113,08	3,11	2,24	115	3,10	2,20
1063	21/01/2013	113,63	3,23	2,16	113,21	3,18	2,19	115	3,10	2,20
1064	28/01/2013	115,77	3,14	2,16	111,53	3,02	2,08	115	3,10	2,20
1065	03/02/2013	116,55	3,11	2,23	112,24	3,13	2,26	115	3,10	2,20
1066	10/02/2013	118,94	2,99	2,30	115,88	3,09	2,44	115	3,10	2,20
1067	17/02/2013	116,41	3,22	2,26	119,68	3,35	2,45	115	3,10	2,20
1068	23/02/2013	119,41	3,08	2,33	123,63	3,16	2,44	115	3,10	2,20
1069	02/03/2013	117,73	3,12	2,27	118,16	3,26	2,42	115	3,10	2,20
1070	18/03/2013	115,10	3,14	2,23	115,99	3,30	2,32	115	3,10	2,20
1071	27/03/2013	113,59	3,11	2,27	111,84	3,28	2,32	115	3,10	2,20
1072	05/04/2013	116,70	3,25	2,12	117,09	3,29	2,15	113	3,10	2,20
1073	12/04/2013	114,64	3,14	2,39	111,64	3,04	2,55	113	3,10	2,20
1074	18/04/2013	110,28	3,11	2,13	109,79	3,19	2,44	111	3,10	2,20
1075	24/04/2013	111,24	3,08	2,10	110,50	3,15	2,31	111	3,10	2,20
1076	01/05/2013	110,90	3,08	2,17	109,32	3,25	2,41	111	3,10	2,20
1077	06/05/2013	114,25	3,04	2,24	113,02	3,31	2,52	111	3,10	2,20
1078	12/05/2013	109,77	2,98	2,23	108,23	3,10	2,35	111	3,10	2,20
1079	02/06/2013	113,16	3,01	2,26	111,46	3,18	2,42	111	3,10	2,20
1080	08/06/2013	111,52	3,10	2,21	110,76	3,28	2,41	111	3,10	2,20
1081	14/06/2013	113,46	3,22	2,19	118,82	3,19	1,99	111	3,10	2,20
1082	20/06/2013	112,51	3,03	2,34	110,86	2,95	2,19	111	3,10	2,20
1083	28/06/2013	113,90	3,05	2,14	112,50	2,96	1,97	111	3,10	2,20
1084	14/07/2013	110,99	3,14	2,25	111,00	3,07	2,16	111	3,10	2,20
1085	22/07/2013	111,43	3,14	2,37	112,30	3,01	2,14	111	3,10	2,20
1086	30/07/2013	114,41	3,07	2,22	112,78	2,97	2,07	113	3,10	2,20
1087	07/08/2013	116,64	3,04	2,34	116,30	3,00	2,14	113	3,10	2,20
1088	14/08/2013	114,19	3,10	2,27	114,69	2,97	2,06	113	3,10	2,20
1089	22/08/2013	112,14	3,03	2,24	116,23	2,84	2,10	113	3,10	2,20
1090	29/08/2013	110,27	3,08	2,40	109,23	2,99	2,22	113	3,10	2,20
1091	05/09/2013	113,18	3,31	2,38	111,31	3,25	2,26	113	3,10	2,20
1092	21/09/2013	112,80	2,99	2,24	109,17	2,98	2,13	113	3,10	2,20
1093	28/09/2013	114,21	3,14	2,51	112,80	3,07	2,42	113	3,10	2,20
1094	04/10/2013	112,06	3,05	2,08	115,22	3,05	2,23	113	3,10	2,20
1095	11/10/2013	114,26	3,10	2,31	114,34	3,02	2,29	113	3,10	2,20
1096	18/10/2013	116,12	2,97	2,41	113,01	2,96	2,26	113	3,10	2,20
1097	25/10/2013	114,19	2,93	2,40	111,89	2,87	2,21	113	3,10	2,20

1098	31/10/2013	113,10	3,04	2,44	110,20	2,98	2,32	113	3,10	2,20
1099	06/11/2013	113,48	3,02	2,43	113,08	2,92	2,30	113	3,10	2,20
1100	13/11/2013	114,13	3,05	2,48	111,46	3,02	2,24	113	3,10	2,20
1101	21/11/2013	112,50	3,18	2,38	108,11	3,27	2,37	113	3,10	2,20
1102	28/11/2013	113,01	3,01	2,35	109,29	3,08	2,24	113	3,10	2,20
1103	04/12/2013	115,33	3,03	2,57	108,38	3,12	2,78	113	3,10	2,20
1104	02/01/2014	114,38	2,92	2,29	111,55	2,94	2,40	113	3,10	2,20
1105	09/01/2014	113,11	3,00	2,27	109,47	2,97	2,74	113	3,10	2,20
1106	15/01/2014	116,25	3,01	2,41	115,52	3,17	2,82	113	3,10	2,30
1107	21/01/2014	111,10	3,07	2,39	110,19	3,48	3,08	113	3,10	2,30
1108	27/01/2014	114,20	3,04	2,19	110,69	3,18	2,41	113	3,10	2,30
1109	03/02/2014	115,25	2,96	2,07	113,84	2,85	1,98	113	3,10	2,30
1110	11/02/2014	115,85	3,20	2,25	113,60	3,18	2,18	113	3,10	2,30
1111	16/02/2014	115,67	2,87	2,48	111,31	2,75	2,40	113	3,10	2,30
1112	23/02/2014	116,20	3,11	2,20	104,20	2,99	2,14	113	3,10	2,30
1113	02/03/2014	116,38	3,02	2,34	107,99	2,92	2,38	113	3,10	2,30
1114	17/03/2014	115,63	3,13	2,54	110,21	2,92	2,36	113	3,10	2,30
1115	23/03/2014	113,99	3,14	2,36	108,06	2,99	2,38	113	3,10	2,30
1116	30/03/2014	115,49	3,00	2,36	108,95	3,01	2,51	113	3,10	2,30
1117	13/04/2014	112,97	3,00	2,22	109,46	2,81	2,09	113	3,10	2,30
1118	19/04/2014	114,51	3,13	2,30	117,12	2,77	2,10	113	3,10	2,30
1119	26/04/2014	116,80	3,08	2,22	111,73	2,92	2,07	113	3,10	2,30
1120	03/05/2014	114,64	3,20	2,21	110,80	2,99	2,22	113	3,20	2,30
1121	10/05/2014	113,08	3,25	1,84	109,41	3,06	1,75	113	3,20	2,30
1122	17/05/2014	112,83	3,10	2,24	109,55	2,94	2,10	113	3,20	2,30
1123	23/05/2014	114,52	3,13	2,23	115,64	2,98	2,04	113	3,20	2,30
1124	29/05/2014	114,53	3,14	2,33	111,49	2,01	2,77	113	3,20	2,30
1125	05/06/2014	115,29	3,15	2,29	116,86	2,07	2,87	113	3,20	2,30
1126	29/07/2014	113,41	3,22	2,36	109,95	2,15	3,09	113	3,20	2,30
1127	05/08/2014	115,14	3,10	2,17	113,85	2,07	3,04	115	3,10	2,30
1128	14/08/2014	113,36	3,01	2,39	109,23	2,36	3,09	115	3,10	2,30
1129	21/08/2014	113,83	3,17	2,29	113,09	2,29	3,25	115	3,10	2,30
1130	28/08/2014	116,80	3,19	2,44	112,02	3,20	2,35	115	3,10	2,30
1131	03/09/2014	115,42	3,00	2,42	112,63	3,08	2,27	115	3,10	2,30
1132	12/09/2014	115,40	3,11	2,36	114,04	3,09	2,28	115	3,10	2,30
1133	18/09/2014	115,97	3,04	2,34	112,15	2,98	2,23	115	3,10	2,30
1134	25/09/2014	115,21	3,23	2,13	108,44	3,20	2,07	115	3,10	2,30
1135	01/10/2014	116,48	2,98	2,34	112,72	2,97	2,31	115	3,10	2,30
1136	14/10/2014	114,74	3,08	2,36	112,17	3,20	2,49	115	3,10	2,30
1137	19/10/2014	115,96	3,06	2,32	110,00	2,95	2,13	115	3,10	2,30
1138	29/10/2014	118,64	3,00	2,37	115,79	3,02	2,53	115	3,10	2,30
1139	03/11/2014	115,43	2,98	2,32	111,20	2,95	2,38	115	3,10	2,30
1140	12/11/2014	115,81	2,99	2,44	111,91	3,04	2,40	115	3,10	2,30
1141	17/11/2014	116,48	3,10	2,35	112,24	3,85	2,19	115	3,10	2,30
1142	23/11/2014	114,95	3,02	2,40	110,83	3,43	2,21	115	3,10	2,30
1143	05/01/2015	116,79	3,00	2,26	114,25	2,96	2,15	115	3,10	2,30

1144	13/01/2015	116,85	2,99	2,34	113,64	2,94	2,23	115	3,10	2,30
1145	20/01/2015	117,30	3,04	2,27	115,17	3,05	2,17	115	3,10	2,30
1146	27/01/2015	116,84	2,97	2,38	119,73	2,95	2,31	115	3,10	2,30
1147	02/02/2015	117,26	2,96	2,17	113,96	2,86	2,01	115	3,10	2,30
1148	08/02/2015	115,38	3,07	2,33	112,11	3,07	2,20	115	3,10	2,30
1149	14/02/2015	115,76	2,95	2,16	114,32	2,86	2,03	115	3,10	2,30
1150	20/02/2015	115,70	2,99	2,28	114,27	2,98	2,24	115	3,10	2,30
1151	27/02/2015	115,18	3,08	2,10	112,12	3,00	2,05	115	3,10	2,30
1152	07/03/2015	116,75	2,91	2,32	115,81	2,89	2,27	115	3,10	2,30
1153	14/03/2015	114,84	2,98	2,14	116,14	2,90	2,06	115	3,10	2,30
1154	21/03/2015	118,83	2,90	2,30	115,97	2,85	2,12	115	3,10	2,30
1155	27/03/2015	115,66	3,04	2,28	110,03	3	2,34	115	3,10	2,30
1156	03/04/2015	114,68	2,93	2,08	113,56	2,95	2,14	115	3,10	2,30
1157	09/04/2015	115,05	2,94	2,27	114,52	2,97	2,06	115	3,10	2,30
1158	16/04/2015	118,31	2,97	2,22	115,68	2,98	2,03	115	3,10	2,30

Annexe 1 : Suivi des TAS pour les années de 2013-2014-2015