



*Université Moulay Ismaïl
Ecole Nationale Supérieure
d'Arts & Métiers-Meknès*



RAPPORT DE STAGE DE FORMATION

Sujet :

*Temps de formation des tas de pré-homogénéisation
Analyse et Optimisation*

Rapport préparé par

: M. Saïd BOUJABER

Encadré par

: M. Lékbir MOURCHID

Stage effectué au sein de la
société

: CIMAR, usine de Marrakech

Période du stage

: Août 2002

Année Universitaire : 2002 / 2003

Remerciements

Au terme de cette courte période de stage, Je tiens à exprimer ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères à M. Lekbir MOURCHID, Chef du département production, de m'avoir accordé cette chance de passer mon stage au sein de son département, ainsi que pour son soutien permanent.

Je tiens à remercier également, M. Ait KHOUYA et M. ZIDANI pour leur précieuse aide, et qui n'ont cessé de me consacrer une partie de leur temps.

Mes remerciements vont aussi à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement l'ensemble du corps professoral de mon école, pour tout le savoir faire qu'ils nous ont enseigné et pour leur contribution à l'évaluation de ce modeste travail.

Introduction

Hier, comme aujourd'hui, le ciment est le produit qui a accompagné l'homme depuis la nuit des temps, besoin de s'abriter, du soleil comme de la pluie, l'homme a toujours voulu construire son logement, après les cavernes, les pierres et l'argile ont devenu des matériaux de construction par excellence.

De nos jours la population est en perpétuelle expansion, ainsi les constructions en béton sont devenues de plus en plus envahissantes, mais sans ciment, plus d'aéroports, plus de ponts, plus de routes...plus rien !

Le ciment est le matériau le plus utilisé dans la vie quotidienne, cependant son emploi exige des contraintes de sécurité, de fiabilité et surtout de qualité.

La production de ciment est de plus en plus complexe, parce qu'elle n'est plus seulement aujourd'hui du clinker, ce résultat de la cuisson à 1450°C d'un mélange composé de calcaires et d'argiles. La demande s'est affinée, les produits se sont diversifiés : les ciments doivent présenter des caractéristiques strictes, des teneurs spécifiques en chaux, en silice, en alumine, en oxyde de fer, en magnésie, etc.

Afin d'améliorer la production, l'optimisation de l'exploitation des carrières à ciel ouvert, s'avère importante, notamment par l'augmentation du rendement du circuit de concassage, la chose qui permettra une alimentation plus efficace du circuit de cuisson et par suite, une amélioration de la production journalière en clinker.

Ce rapport de stage traite l'ensemble des procédés de fabrication du ciment de manière générale, tout en mettant le point sur le circuit de l'usine de Marrakech, au sein de laquelle j'ai effectué mon stage.

Le sujet proposé étudie l'efficacité de l'exploitation et du concassage pour parvenir à la formation des tas de pré-homogénéisation dans les délais requis, pouvant garantir la bonne marche de l'ensemble du circuit de fabrication, puisqu'il s'agit d'une alimentation continue et surtout régulière du four.

I. Présentation de l'entreprise :

La société Ciments du Maroc : CIMAR est une filiale de Ciments Français, lui aussi contrôlé par Italcementi Group, un leader européen de l'industrie du ciment, il est classé 6^{ème} des cimentiers du monde, et contrôle une cinquantaine d'usines à travers les cinq continents.

La société CIMAR est classée numéro 2 de l'industrie cimetièrè au Maroc, elle produit et commercialise actuellement 2.5 millions tonnes de ciment par an, dont 410.000 tonnes qui sont destinées à l'export, avec une capacité de production de 3 millions tonnes de ciment par an.

CIMAR exerce son activité dans le domaine des matériaux de construction à travers les cimenteries d'Agadir, Safi et Marrakech pour la production du clinker et du ciment, les sociétés BETOMAR pour la production du béton prêt à l'utilisation, SAGRAM pour la production de granulats et plusieurs d'autres centrales et carrières à travers le royaume.

II. La cimenterie de M'zoudia :

1. Présentation de l'usine :

Au cours des années soixante, les différents secteurs économiques au Maroc ont connu une croissance remarquable qui a touché aussi le secteur cimentier. Et comme la production du ciment ne couvrirait pas les besoins de la région du sud, les pouvoirs publics, notamment la Société Nationale d'Investissement (SNI), ont incité à la création d'une cimenterie implantée dans la région de Marrakech, plus précisément à 46 km sur la route d'Essaouira (M'zoudia). D'où la construction de la cimenterie de M'zoudia et la création de la société anonyme Asment Marrakech (ASMAR).

ASMAR a été créé le 15 décembre 1972 au capital de 237.160.000 DH par les actionneurs suivants :

- La SNI ;
- Fond D'abu Dadi ;
- LAFARGE MAROC ;
- CIMR (Caisse Interprofessionnelle Marocaine de Retraite) ;
- CADEM (Cimenterie de Meknès) ;
- SFI (Société Financière Internationale) ;
- BNDE (Banque Nationale de Développement Economique) ;

La société a commencé son activité en 1976 pour répondre non seulement aux besoins de la ville de Marrakech mais également à ceux des provinces de Ouarzazate, Essaouira, Azilal et Elkelaa des Srakhna.

L'usine de M'zoudia est située à 46 Km de Marrakech sur la route d'Agadir et vue la distance qui sépare l'usine de la ville de Marrakech, la société a construit une cité pour loger le personnel technique près de l'usine.

La cité comporte :

Une école, 78 logements, une coopérative répondant aux besoins de la population de la cité, un four à pain, un hammam, une mosquée, une piscine, un restaurant, des terrains pour tous les sports et un hôpital.

En 1999, ASMAR a été absorbée par CIMAR pour faire partie de Italcementi Group, cette fusion a permis l'amélioration du fonctionnement de l'usine, notamment grâce à la rationalisation et la maîtrise du marché dans la zone sud. Ainsi, après les usines de Safi et d'Agadir, celle de Marrakech a obtenu la certification ISO 9002 / AFAQ.

Il est à noter que Ciments du Maroc a reçu le prix national de la qualité en l'an 2000 dans la catégorie des grandes entreprises.

2. Organisation de l'usine :

L'effectif du personnel atteint actuellement 270 personnes dont 21 cadres organisés dans les trois départements :

- Administration ;
- Maintenance ;
- Production ;

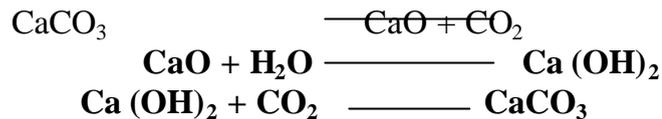
En plus, l'usine possède un laboratoire et un service de qualité en liaison directe avec la direction (voir organigramme : page suivante).

Le département production constitue le cœur battant de l'usine. En amont, il contrôle le sous-traitant de la carrière et participe activement dans le choix des niveaux et gradins à exploiter, assurant par la suite, l'obtention d'une meilleure qualité du ciment. En aval, il assure l'expédition du produit fini et l'export du clinker. Entre les deux phases, ce sont les services chargés de la pré-homogénéisation, de la fabrication, ainsi que du stockage du ciment dans les silos d'expédition, qui prennent le relais.

I. L'histoire du ciment :

Le ciment est un matériau très ancien et possède une longue histoire.

Les débuts remontent aux Egyptiens qui avaient utilisé la chaux grasse, obtenue par cuisson de roches de calcaire à une température avoisinant les 1000 °C, suivie d'une extinction du produit obtenu (la chaux vive), avec de l'eau, pour obtenir l'hydroxyde de chaux. Son durcissement se faisait par carbonatation à l'air suivant les réactions :



D'où son appellation de chaux aérienne.

Cependant ce sont les Romains qui ont fait véritablement du ciment en y ajoutant une matière volcanique, la pouzzolane, cendre volcanique qu'ils trouvaient au pied de Vésuve. Ils ont ainsi mis au point un matériau qui, à température normale est mélangé avec de l'eau, durcissait par hydratation et devenait, après sa prise, insoluble dans l'eau. C'est ce matériau qui est le premier liant hydraulique, c'était l'ancêtre du ciment. Il a servi à la construction des Bains Romains 27 Av. J. C., le Colisée et la très grande Basilique de Constantin. Il est resté, cependant, peu utilisé durant de longs siècles, concurrencé par deux matériaux bien connus : la chaux et la brique. Le premier est à base de calcaire, le deuxième est à base d'argile.

Ce n'est qu'au 18^{ème} siècle qu'un nouveau pas eut franchi.

En 1759, John SMEATON effectua plusieurs essais sur le ciment et reconstruit le phare d'Eddystone en Cornouailles qui dura 126 ans avant son remplacement.

D'autres personnes firent des expériences sur le ciment dans la période entre 1756-1830 comme Vicat, Lesage en France et Parker Frost en Angleterre.

Quelques années avant et après la découverte du ciment Portland, de grandes quantités du ciment naturel étaient obtenues par cuisson d'un mélange naturel de chaux et d'argile.

Les ingrédients du ciment étant naturels, ses propriétés dépendaient largement des ressources naturelles utilisées.

En 1824, Joseph ASPDIN, maçon à Leeds en Angleterre, prit un brevet sur un ciment hydraulique qu'il appela Ciment Portland, car il ressemblait beaucoup à la pierre provenant de l'Île Portland au large de la côte britannique.

La méthode d'ASPDIN consistait en un dosage précis des proportions d'argile et du calcaire, à pulvériser, ensuite à cuire le mélange pour obtenir le clinker qui était alors broyé pour devenir du ciment.

Le ciment Portland aujourd'hui, comme du temps d'ASPDIN, est un mélange soigneusement dosé de calcium, de silice, de fer et d'alumine.

II. Les matières premières :

Bien que les ciments sont fabriqués à partir de matières premières différentes et parfois par des procédés différents, tous les clinkers, à partir desquels sont obtenus ces ciments, contiennent les composés essentiels suivants : silicate tricalcique, silicate bi-calcique, aluminat tricalcique et aluminato-ferrite tétra-calcique, respectivement notés C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF , cette notation est utilisée uniquement dans le secteur cimentier, le tableau suivant en donne l'illustration :

Nom	Symbole chimique	Symbole cimentier	Masse molaire
Oxyde de Calcium	CaO	C	56
Oxyde de silice	SiO₂	S	60
Oxyde d'Aluminium	Al₂O₃	A	102
Oxyde de Fer	Fe₂O₃	F	160

Tableau 1
Notations cimetières des éléments chimiques constituant le ciment.

Les matériaux de base nécessaires à la fabrication du clinker doivent donc fournir les éléments chimiques essentiels à son élaboration, notamment, le calcium (Ca), le silicium (Si), l'aluminium (Al) et le fer (Fe).

Ces éléments se trouvent dans la nature sous forme de minéraux. Ainsi, le calcium provient de tous les minéraux contenant de la chaux, et notamment de la calcite (carbonate naturel de calcium $CaCO_3$). De même, le silicium se présente en combinaison avec d'autres éléments (Al et Fe) dans des minéraux argileux comme la Kaolinite.

Dans la pratique, les matières premières employées dans l'industrie cimentière sont extraites pour l'essentiel de carrières de calcaire et d'argile, qui apportent les 4 oxydes fondamentaux, qui à leur tour, assurent la transformation du mélange cru en clinker. Les premières apportent le carbonate de calcium ($CaCO_3$), les secondes apportent les oxydes : SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 .

Ces dernières se trouvent rarement en proportions voulues. Il faut souvent procéder à des mélanges de matériaux d'origines différentes et ajuster la composition du mélange cru par incorporation d'ajouts tels que : la pyrite grillée (apport de fer), la bauxite (apport d'aluminium), le sable (apport de la silice) ou le calcaire pour l'apport de chaux. Les matières premières de correction peuvent provenir d'exploitation des carrières (calcaire pur, minerai de fer, bauxite, sable...) ou d'autres industries (sable de fonderie, cendres de pyrite, cendres volantes, laitier...).

Les matières premières étant extraites des carrières sous forme de grands blocs, une première phase de concassage s'avère primordiale. Les procédés de concassage sont nombreux, selon le type des concasseurs utilisés, dont on peut citer : les concasseurs giratoires, à marteaux ou à mâchoires.

III. La préparation du cru :

1. La composition du cru :

La préparation du cru est l'opération qui consiste à réaliser un mélange homogène de calcaire, d'argile et éventuellement de matériaux complémentaires, dont les proportions permettent d'obtenir un clinker de composition chimique précise, respectant des variations très réduites par rapport à une composition optimale propre à l'usine concernée.

Matières	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	M.S.	A/F	KUHL
Calcaire pur (M'zoudia)	3,74	0,5	0,42	51,08	1,02	0,15	4,07	1,19	4,506
Calcaire magnésien (M'zoudia)	6,86	2,13	3,53	30,51	13,49	0,58	1,21	0,6	1,27
Calcaire d'encroûtement	38,16	3,44	1,38	20,2	1,52	0,21	7,92	2,49	0,181
Calcaire marneux	26,28	5,17	1,02	26,55	1,79	0,79	4,25	5,07	0,33
Calcaire pur (Ighoud)	2,34	0,4	0,33	52,49	0,85	0,2	3,21	1,21	7,252
Marnes (M'zoudia)	44,91	11,11	3,48	15,32	0,67	2,5	3,08	3,19	0,109
Schistes inférieures (M'zoudia)	57,51	12,69	5,65	6,59	2,42	2,26	3,14	2,25	0,037
Cendres Pyrrothine	10,41	1,05	78,17	2,05	1,89	*****	0,13	0,01	0,025

Tableau 2

Analyse chimique des matières premières.

Le suivi du cru destiné à l'alimentation du four, conduit à la détermination des modules et facteurs suivants :

Module Silicique : $M.S. = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$;

Module Alumino-Ferrique : $A/F = Al_2O_3 / Fe_2O_3$;

Facteur de saturation en chaux : $KUHL = CaO / (2.8 * SiO_2 + 1.18 * Al_2O_3 + 0.65 * Fe_2O_3)$;

Les matières premières de base doivent contenir les quatre oxydes indispensables pour la fabrication du clinker : la chaux CaO, la silice SiO₂, l'alumine Al₂O₃ et l'oxyde ferrique Fe₂O₃. Ces composants se trouvent dans les gisements en proportions variables. Il faut donc élaborer des mélanges de matières de base, calcaire, argiles ou marnes (argilo-calcaire), de façon à obtenir la composition chimique voulue.

Il faut noter qu'il est nécessaire d'affiner cette composition par l'ajout d'autres produits provenant des carrières ou de sous-produits industriels.

2. La pré-homogénéisation :

Les matériaux provenant de la carrière présentent des caractéristiques cycliquement ou aléatoirement fluctuantes par rapport à leurs valeurs moyennes. Transportées par des camions jusqu'à la station de concassage, puis par le biais des convoyeurs à bandes, ils sont déposés par couches successives de faible épaisseur,

optimisée en fonction de la granulométrie, en vue de former de grands tas de stockage. Le mélange ainsi formé est repris de façon perpendiculaire à celle suivant laquelle il a été déposé, de cette manière on reprend toutes les couches constituant le tas, ce processus de reprise de matière permet un lissage des caractéristiques des matériaux avant de les envoyer vers la station de broyage.

3. Le broyage – séchage :

Les matières pré-homogénéisées doivent être finement broyées afin d'être chimiquement plus réactives au cours de la phase de cuisson. Les réactions chimiques et les échanges thermiques sont, en effet, d'autant plus intenses que les surfaces offertes par les particules de matière sont plus grandes : *une matière finement broyée offre une plus grande surface spécifique et présente donc une plus grande réactivité.*

Il convient de noter que les meilleurs clinkers sont obtenus à partir de crus très fins.

Les broyeurs à cru assurent le séchage et le broyage des matériaux, jusqu'à l'obtention d'une farine ayant un refus au tamis de 160 μm , dans le cas général, c'est de l'ordre de 1 à 1.5 %.

Trois types de broyeurs sont utilisés par l'industrie cimetièrre : les broyeurs verticaux (dits à pistes), les broyeurs à boulets et les presses à rouleaux. La fragmentation de grains de matière est obtenue principalement par percussion entre grains et boulets dans les broyeurs à boulets et par écrasement progressif des grains dans les deux autres types.

4. La ventilation :

L'air qui sort du broyeur contient entre 50 et 500 g/m^3 de fines particules de matière, ce sont les poussières. Celles-ci ne sont entraînées que si la vitesse du flux d'air est suffisamment élevée, en pratique, le débit d'air nécessaire est de l'ordre de 700 à 1500 m^3/h par tonne de produit. De puissants appareils de ventilation doivent donc être prévus.

5. La séparation :

Les séparateurs utilisés sur les circuits des broyeurs à cru sont de deux types :

- ***Les séparateurs matière – matière*** : leur rôle proprement dit consiste à trier les particules suffisamment broyées de celles qui ne le sont pas encore, ces dernières doivent retourner au broyeurs pour être affinées.
- ***Les séparateurs gaz – matière*** : ils sont destinés à récupérer le maximum de matières contenues dans les gaz, avant de traiter ces derniers par un filtre et les rejeter ensuite dans l'atmosphère.

6. Les filtres et les dépoussiéreurs :

Les différents systèmes utilisés pour épurer les gaz des poussières résiduelles qu'ils contiennent, avant de les rejeter dans l'atmosphère, peuvent être regroupés en plusieurs familles, notamment : les filtres à manches et les électro-filtres.

7. L'homogénéisation :

A l'issue du broyage, et après séparation, les matières premières se sont transformées en un produit très fin appelé : *farine*. Cette farine doit présenter une composition chimique aussi régulière que possible. L'opération d'homogénéisation complète celle de la pré-homogénéisation préalable, ainsi que celle d'uniformisation lors du broyage ; elle permet aussi d'obtenir un produit, de caractéristiques chimiques uniformes, qui doit être impérativement apte à la cuisson, en vue de produire un clinker de qualité constante.

L'homogénéisation est réalisée à la sortie des silos, ces derniers sont conçus pour contenir plusieurs tonnes de farine, le principe de l'opération consiste en un brassage intime de la farine par de l'air, ce brassage peut être fait par deux manières : pneumatique ou mécanique.

IV. **Les procédés de fabrication du clinker :**

La farine crue, obtenue par broyage et homogénéisation des matières premières, est transformée en clinker par cuisson dans des fours rotatifs. Ces fours de grandes dimensions constituent l'enceinte dans laquelle s'opère le traitement thermique du cru, la température de clinkérisation est de l'ordre de 1450 °C. Il est à noter que les réactions qui aboutissent à la formation du clinker sont consommatrices d'énergie. Afin de réduire cette consommation, et dans une politique de développement des procédés de fabrication, les circuits de cuisson ont subi de profondes évolutions.

Ainsi, les procédés de fabrication du clinker par voie sèche remplacent progressivement ceux utilisant les voies humides, semi-humides et semi-sèches. C'est pour cette raison que la majorité des cimenteries utilisent la voie sèche.

La cuisson est le processus de transformation du cru en clinker par un apport suffisant de température, cet apport est nécessaire pour entraîner des réactions chimiques complètes, conduisant à leur tour, à l'élimination presque totale de chaux libre (chaux non-combinée).

Dans tous les procédés cités auparavant, un four de clinkérisation comporte essentiellement :

- *Un système de préchauffage du cru* : en voie sèche, le préchauffage se fait dans la partie supérieure d'une tour-échangeur par suspension dans des cyclones (voir annexes).

- *Une partie de décarbonatation* : en voie sèche, cette phase se fait dans la partie basse du pré-chauffeur qui est aussi la partie amont du four rotatif.
- *Une partie pour la clinkérisation* : elle se fait toujours dans la partie avale du four.

En résumé, la farine crue est introduite, après préchauffage et pré-calcination, dans le four où elle avance vers l'aval, sous l'effet combiné de la rotation et la pente du four. Au fur et à mesure de son cheminement, la matière s'échauffe jusqu'à clinkérisation vers les 1450 °C.

A la sortie du four, le clinker tombe dans un refroidisseur où se produisent les échanges thermiques qui assurent la récupération de la chaleur.

V. Le broyage du cuit et l'expédition du ciment :

Le ciment est obtenu par broyage des granulats de clinker, avec l'ajout d'un pourcentage déterminé de gypse et éventuellement d'un ou deux constituants secondaires (pouzzolane ou/et calcaire pur). Les opérations de broyage du ciment ont pour but d'accroître la réactivité du clinker en augmentant sa surface spécifique, aussi par création de défauts de cristaux dans la surface des grains. Ce traitement développe les propriétés hydrauliques du ciment et lui confère ses principales caractéristiques rhéologiques.

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage à partir desquels il est expédié, soit dans des sacs soit en vrac, par camion, par trains, par péniche ou par bateau.

Introduction :

Dans le but d'améliorer sa production journalière en clinker, la société des Ciments du Maroc, usine de Marrakech, a entrepris plusieurs changements sur la ligne de cuisson, son objectif était, et l'est toujours, de porter cette production à 3200 tonnes / jour.

La farine alimentant le four, est le résultat du broyage des matières premières provenant de la pré-homogénéisation. Cependant la formation des tas de pré-homogénéisation subit d'énormes retards, ce qui altère directement la production journalière du clinker.

On se propose d'analyser les différentes causes de ces retards et leurs conséquences, ainsi que de penser à d'éventuelles solutions ; Pour se faire, on a procédé par un suivi de la formation des tas pendant les mois de Juillet et Août, ainsi que par une présence active sur le champ.

I. La pré-homogénéisation :

L'hétérogénéité de la carrière de M'zoudia, provoque des non-régularités des caractéristiques des matières premières, la qualité de ces dernières conditionne le processus de cuisson. Cependant, les phases de pré-homogénéisation et d'homogénéisation atténuent considérablement ces fluctuations de caractéristiques, et confèrent à la farine, son aptitude à la cuisson.

⌘ Principe :

La pré-homogénéisation peut être réalisée par deux modes : linéaire ou circulaire, ce dernier est celui adopté par la cimenterie de M'zoudia. Il s'agit de former deux tas, par le biais d'un manège qui met en place les matières premières, de manière discontinue, sous la forme de cordons circulaires (arcs de cercle de 180°).

En plus des deux tas, qui sont formés et repris alternativement, il y a un troisième tas, dit : **le tas mort** ; son rôle est aussi bien d'éviter les problèmes des bouts des tas, que de servir de repère pour les autorisations futures.

L'autorisation de la formation d'un nouveau tas est donnée dès que le tiers du tas précédant a été consommé. La consommation des matières est assurée par un gratteur, ce dernier gratte les couches du tas perpendiculairement, de manière à produire un mélange homogène des matières premières, avant d'être transportées par le biais du **SCRAPER** vers les broyeurs **Cru² & Cru ÉÉ**.

La pré-homogénéisation fournit un produit dit : calcaire de moyenne teneur (CMT), ce produit est souvent corrigé par du calcaire pur et des marnes, avant d'être acheminé vers les broyeurs Cru.

⌘ Délais à respecter :

Les tas de pré-homogénéisation doivent être formés dans un espace de temps et avec des tonnages bien déterminés, permettant ainsi la bonne marche du reste du circuit de fabrication. Le temps optimal est de 48 heures, y compris les temps d'arrêt ; Cependant ce temps est largement dépassé dans la majorité des cas, avec des tonnages inférieurs à 18000 tonnes.

☞ Un petit calcul :

La pré-homogénéisation est alimentée par l'atelier de concassage, dont le débit moyen est : 500 T/h, avec un tel débit on arrivera à la formation de tas de 18000 tonnes dans l'espace de 36 heures, ce qui laisse 12 heures comme temps maximum pour tous les arrêts du circuit alimentant la pré-homogénéisation.

La réalité est beaucoup plus parlante, le suivi des tas formés pendant les mois de Juillet et Août, a permis d'évaluer les durées moyennes de formation des tas et celles des arrêts, les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

<i>N° du tas</i>	<i>Heures d'arrêt</i>	<i>Heures de marche</i>	<i>Durée de formation du tas</i>	<i>Tonnage (T)</i>	<i>Débits (T/h)</i>
1049	26H45	33H30	60H40	17202	513,5
1050	17H30	33H15	50H45	17034	512,3
1051	17H30	34H35	51H15	18412	532,4
1052	18H55	33H50	52H45	17298	511,3
1053	13H00	37H25	50H45	19203	513,2
1054	27H35	32H00	59H35	16336	510,5
1055	24H45	30H50	55H35	16320	529,3
1056	12H30	32H50	45H20	16861	513,5
1057	19H45	33H15	53H00	17008	511,5
1058	17H05	36H05	53H10	18249	505,7
1059	24H55	34H55	59H50	17118	490,25
1060	19H50	34H10	54H00	17002	497,7
1061	16H50	31H55	48H45	16016	501,8
total	15415 (min)	26315 (min)	41725 (min)	224059	6642,95
Moyenne	19H46	33H44	53H13	17235,3077	510,996154

Heures de marche et d'arrêt.

On remarque que la durée moyenne de formation des tas est : 53heures, avec des temps d'arrêt d'environ 20 heures et des temps de marche de 33 heures. Ce ne sont que des valeurs moyennes, mais il en existe bien celles qui sont alarmantes.

L'atelier de concassage assure la formation des tas dans 36 de marche avec un débit de 500 T/h, cependant, le temps moyen de formation des tas est de 53 heures. Ces retards provoquent un chevauchement des temps de formation et de reprise des tas, ce qui pousse à s'arrêter sur des tonnages inférieurs à 18000 tonnes, et incite la

fabrication à ralentir le processus de cuisson, forçant ainsi la diminution de la production journalière en clinker.

Voyons les différentes causes des arrêts sur l'ensemble du circuit de pré-homogénéisation :

II. La carrière :

La carrière est le premier élément du circuit, c'est de là que proviennent les matières premières, la carrière constitue, de près ou de loin, 23% des temps d'arrêt totaux.

1. Les matières premières :

La carrière de M'zoudia assure l'alimentation de l'usine par les matières suivantes:

- ↪ Calcaire pur ;
- ↪ Calcaire marneux ;
- ↪ Calcaire d'encroûtement ;
- ↪ Calcaire magnésien ;
- ↪ Marnes ;
- ↪ Schistes inférieurs.

Ces matières sont abattues par des tirs à l'explosif, ensuite elles sont chargées sur des camions, assurant leur transport jusqu'à la station de concassage. Donc les principaux éléments d'étude sont :

- ✓ La qualité des tirs ;
- ✓ Le chargement ;
- ✓ Le transport et déversement.

2. Qualité des tirs à la carrière :

La qualité des tirs s'avère importante, dès lorsqu'on constate ses différentes conséquences sur le plan et la manière d'exploitation. Une remarque qui saute aux yeux, la carrière de M'zoudia, en plus de son hétérogénéité, elle est le lieu d'une exploitation (non planifiée).

Les tirs sont effectués n'importe où, ce qui demande dans la majorité des temps, et pour des problèmes de sécurité, des arrêts d'exploitation; les forages et les tirs sont pratiqués de manière à assurer les matières premières pour la prochaine étape du cadencement annoncé, qui, la plupart des temps subit des changements profonds, sur la demande du service laboratoire.

De cette manière, on risque d'avoir recours à faire des tirs, dans la zone d'extraction, ce qui implique des chevauchements des travaux, et par suite, des retards à tenir en compte.

Un autre point très intéressant, c'est la qualité des tirs, ce point est souvent sous-estimé, malgré ses conséquences remarquables sur le champ. C'est un sujet qui nécessite une étude poussée, mais on se propose d'aborder les grandes lignes :

La stratégie du tir :

Le plan des forages optimal est le suivant :

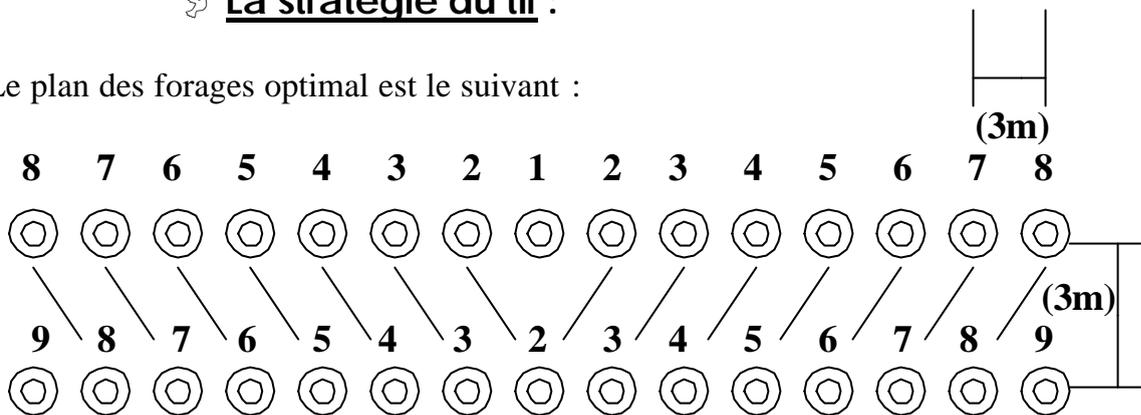


Figure 1 : Schéma des forages.

Le nombre des forages (trous à explosifs) dépend de la longueur du front de tir, les forages sont pratiqués par des sondeuses, sur des profondeurs de l'ordre de 14 m, à condition de garder la même hauteur des gradins. Les diamètres des taillants pouvant aller de 76 mm à 114 mm, selon la nature du gisement et celle de l'explosif utilisé. L'amorçage des charges explosives est donné par micro-retards dans l'ordre schématisé par la figure ci-dessus.

La nature des explosifs :

✓ Une analyse qualitative :

Avant de céder l'exploitation de la carrière à la sous-traitance, l'usine de M'zoudia utilisait des charges explosives constituées :

- De l'AMONIX ;
- Des cartouches du TOVEX.

Le sous-traitant de la carrière, qui, lui même sous-traite l'affaire des tirs, avec la société SCAM, utilise des charges d'AMONIX avec des cartouches SIGMA, dont il faut revoir la qualité.

✓ Une analyse quantitative :

Pour la méthode de CADEX (c'est le premier sous-traitant de l'affaire des tirs), on met 3 sacs d'AMONIX de 25 Kg pour trois forages, plus 3 Kg des cartouches du TOVEX pour chacun, ce qui donne une quantité totale d'explosifs d'environ 38

Kg/forage ; Pour la SCAM, on met environ 50 Kg d'AMONIX pour chaque forage, plus 10 Kg du TOVEX, pour une charge totale de 60 Kg/forage. Le problème, c'est qu'il faut laisser une distance suffisante pour assurer la bonne fermeture des forages, cette étape décide de la force d'explosion, et par suite de la qualité du tir, une comparaison est illustrée par la figure suivante :

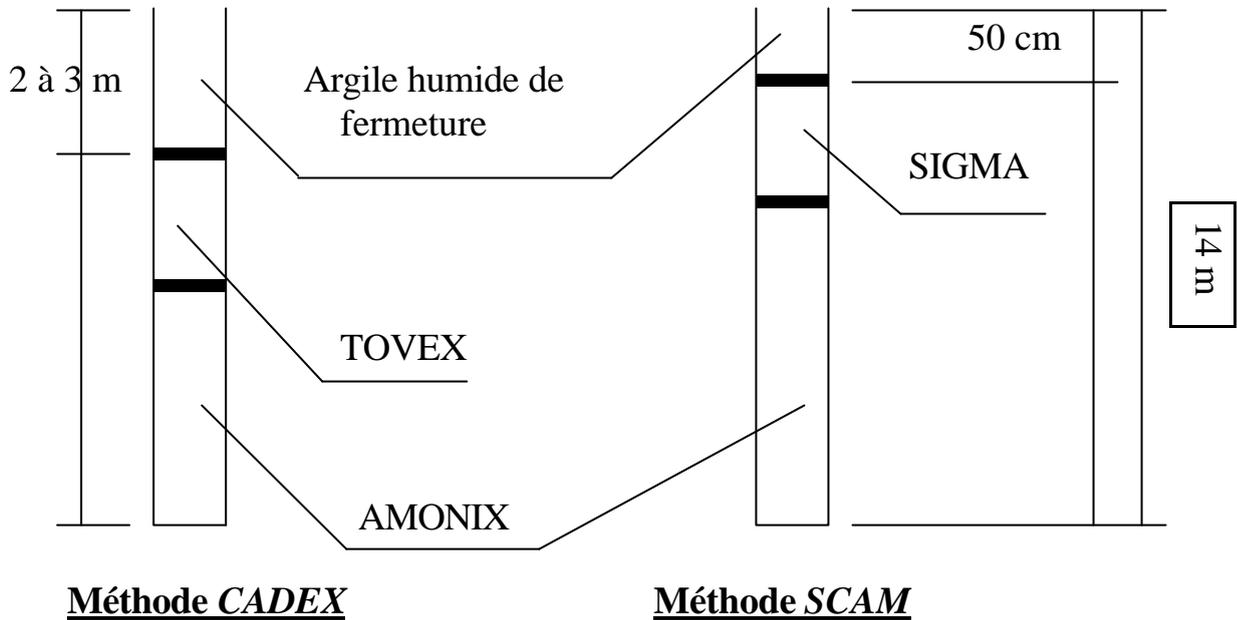


Figure 2: Comparaison des remplissages.

On désigne par la qualité des tirs, la possibilité d'avoir le maximum des tonnages abattus, avec la plus petite quantité de blocs. Pendant notre visite de la carrière, on a remarqué que les blocs constituent de vrais problèmes :

- Le triage des blocs, provoque des retards de chargement ;
- La nécessité de dégager les pistes ;
- Les heures supplémentaires de travaux de forages pour le tir des blocs ;
- L'occupation d'un espace important dans la carrière ;

Conclusion :

Les politiques d'exploitation des carrières doivent se baser, en premier lieu sur la connaissance des gisements, puis sur une optimisation des extractions, pour se faire, on propose :

- Une caractérisation et interprétation globale des gisements ;
- Une modélisation informatique et calcul des réserves ;
- Faire des suivis d'exploitation ;
- Se baser sur le passé pour prévoir les actions à mettre en œuvre en vue d'optimiser l'exploitation ;

- Prévoir des réunions de travail périodiques avec le sous-traitant pour discuter de la stratégie d'exploitation ;
- L'existence des blocs s'avère inévitable, donc il faut prévoir une chargeuse uniquement pour les travaux de triage et de dégagement des pistes ;
- Etablir des cadencements optimaux pour réduire les temps de changement de couloirs.

3. Le chargement, le transport et le déversement :

Ces trois étapes sont aussi importantes par leur contribution dans les temps d'arrêt totaux. Les calculs affirment que les manques de matières présentent une moyenne d'environ 7% du temps d'arrêt total, mais voyons ce qu'il y a derrière cette appellation de « manques de matière » :

Elles sont traduites par des retards d'alimentation, le concasseur primaire étant toujours en marche, il tourne à vide, et pas de matières dans la trémie. Ces retards sont dus à plusieurs facteurs :

- ↳ **Le chargement** : cette étape est assurée par une chargeuse, les cycles de chargement sont donnés par le tableau suivant :

	<i>Volvo 1&2 (25000 tonnes chacun)</i>	<i>CAT (35000 tonnes)</i>
<i>Cycles de chargement (en seconde)</i>	Valeur moyenne : 44.5 s	Valeur moy. : 50 s
<i>Nombre de godets</i>	3 godets	4 godets
<i>Durée totale du Chargement (en s)</i>	Valeur moyenne : 133.5 s	Valeur moy. : 200 s

Figure 3 : Cycles & durées de chargement.

En tenant compte des densités des différentes matières présentes dans la carrière, la capacité de la chargeuse est de l'ordre de 10 tonnes/Godet (en moyenne), ce qui donne des cycles de chargement donnés par le tableau précédent (figure 3).

Il faut noter que le temps total de chargement est de 3 minutes pour les petits camions (Volvo) et de 4 minutes pour le grand (CAT).

- ↳ **Le transport et le déversement** : ils sont assurés actuellement par trois camions, deux de capacité de 25000 tonnes chacun, le troisième, de capacité égale à 35000 tonnes, pour la plus courte distance (600 m), le cycle de voyage est de 6 minutes, pour la moyenne distance (entre 700 et 900 m) c'est environ 10 minutes, et pour la plus grande distance (jusqu'à 1200 m) le cycle est de 12 minutes.

On va faire les calculs pour des tas de 18000 tonnes :

Pour chaque tas, l'exploitation sur les deux premières zones est estimée par : 75 % pour la zone ÉÉ et 25 % pour la zone É. Ce qui donne un tonnage de 4500 T provenant de la zone É, et 13500 T provenant de la deuxième.

Pour les trois camions utilisés actuellement par le sous-traitant, les cycles sont illustrés par la figure suivante :

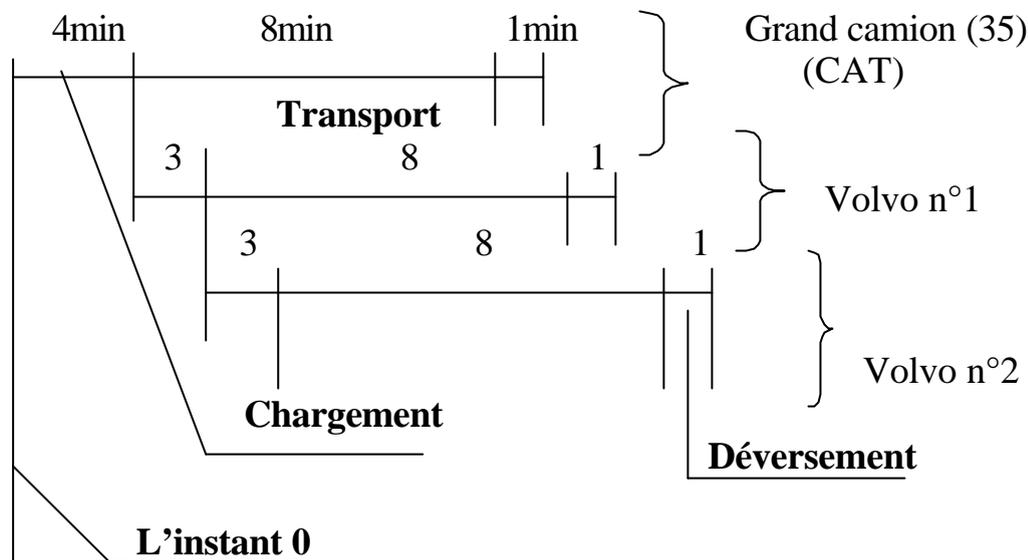


Figure 4

D'après ce schéma simplifié, on remarque que la chargeuse va attendre environ 3 minutes avant l'arrivée du premier camion, ce qui n'est pas vrai, car le **calcul est fait** pour des valeurs moyennes des cycles. En réalité, la chargeuse n'est jamais en attente, sauf si les camions, pour une raison ou pour une autre, sont en attente devant la trémie du primaire, donc il y aura toujours un camion qui se prépare pour le chargement, dès le départ du précédent.

Si on tient compte de ces valeurs moyennes, dans l'espace des 10 minutes, les trois camions ont déjà déversé environ **85 tonnes** de matières dans la trémie du primaire, ce qui permet d'évaluer le débit horaire à 510 T/h, qui est assez satisfaisant, mais théoriquement.

Les calculs permettent de conclure que le rendement des engins est satisfaisant, mais on remarque qu'il n'est jamais atteint à 100 %, on donne dans la suite les différentes causes du problème :

- Les temps perdus dans le triage des blocs ;
- Le dégagement des pistes ;
- Se débarrasser des grands blocs lors du chargement **P** des godets qui ne sont pas pleins **P** l'augmentation du nombre de cycles de chargement ;
- Chevauchements des camions sur les pistes, ce qui les oblige à attendre leur tours de passage;

- Les temps perdus pendant les changements de couloirs : sur les tableaux prévisionnels des tas, on constate qu'il y a présence d'une moyenne de 14 changements de couloirs pour chaque tas, ce qui donne, pour une moyenne de 10 min/changement, une durée totale de 140 minutes (2h20min), ce qui n'est pas à sous-estimé dans l'étude des arrêts, d'ailleurs ils représentent 9 % du temps d'arrêt total.
- Les temps de ravitaillement en gasoil : pour éliminer ce retards, il vaut mieux vérifier quotidiennement le gasoil des engins avant d'entamer l'exploitation.

Remarques :

Les camions ne sont jamais à leur capacités maximales, donc les calculs déjà faits sont à remettre en cause, pour contourner ces défauts de données, il faut prévoir au moins un autre camions de capacité (35 T), la chose qui va permettre l'alimentation de l'atelier de concassage, à un débit de 570 T/h (théoriquement), à ce stade on va être sur d'augmenter le rendement des engins, et affleurer les 500 T/h nécessaires pour le respect des délais.

Il faut obligatoirement prévoir une autre chargeuse, pour effectuer les travaux de triage des blocs et de dégagement des pistes, ainsi que de réduire les temps des changements de couloirs, en se mettant en place prévue pour la prochaine exploitation, de cette manière, les camions n'auront pas à attendre le déplacement de l'unique chargeuse !

Un autre point à mettre en évidence, c'est l'aménagement des couloirs, en prévoyant des largeurs suffisantes assurant le passage facile des camions.

III. La station de concassage :

La matière provenant de la carrière, est déversée dans la trémie du concasseur primaire (**B**), le concassé est transporté vers la crible (**E**) par le biais d'un convoyeur à bande (**C2**), les granulats ayant la granulométrie de la maille du crible sont stockés dans une trémie (**R**) avant leur transport vers les circuits d'échantillonnage et de pré-homogénéisation, pour les granulats dépassant la maille, ils seront renvoyés vers les concasseurs secondaires (**L & M**), le concassé issu des deux, sera ré-acheminé vers l'entrée du crible, la station comporte aussi un autre concasseur (**DRAGON**), ce type est un grand consommateur d'énergie, raison pour laquelle il n'est utilisé que pour le concassage des incuits (voir annexes :Atelier de concassage).

La station comporte, entre autres, un système de dépoussiérage, pour diminuer le taux de poussières volatiles.

Pour l'analyse des différents types d'arrêts du circuit, nous allons commencer par l'entrée de la station de concassage, et on va parcourir l'ensemble des éléments de la station :

- La trémie du primaire : elle reçoit les matières provenant directement de la carrière, ces dernières sont sous forme de blocs pouvant dépasser 1 m³, ce qui

pousse à avoir recours à des travaux de bourrage, ces travaux sont faits par une brise-roche et entraînent des retards de l'ordre des 7 %.

- Le concasseur primaire (B) : il tombe rarement en panne, mais il nécessite un entretien régulier, et un contrôle permanent, surtout son circuit de lubrification.
- L'extracteur (C1) : il est placé directement sous le primaire, et il reçoit la jetée agressive des premiers concassés, alors il est nécessaire de s'assurer de ses capacités à supporter cette jetée, notamment, il est utile de revoir son dimensionnement.
- Le convoyeur (C2) : il est surtout le lieu de déportements, causés principalement par des surcharges de matières lors d'un retour important des secondaires (ce problème sera traité plus loin).
- La grille : l'important dans cette partie est la maille, des dimensions plus réduites de cette maille, provoquent des refus importants et par suite un problème de retour. En plus, ce dernier altère aussi le circuit d'échantillonnage ; il est la cause des travaux de bourrage dans les échantillonneurs primaire, secondaire et tertiaire.
- Les concasseurs secondaires (L & M) : il est à noter qu'un réglage adéquat de leur granulométrie réduira énormément les problèmes de retour. Il est à signaler aussi qu'il faut revoir le système **HYDROSET** du concasseur (L), car il présente des défauts de stabilité des réglages de granulométrie.
- Les convoyeurs et les extracteurs : les problèmes de déportement sont les plus dominants. Pour les extracteurs, les travaux de bourrage constituent une partie importante des arrêts.
- Les arrêts d'ordre général : le passage des métaux, des bois, et d'autres impuretés, est la cause des grands bourrages notamment sur les goulottes supérieures et inférieures (entre les convoyeurs (P) & (C2)). Ces impuretés peuvent causer la déchirure des bandes transporteuses, dont le remplacement prend des temps énormes.

Les arrêts sont divers, et toute politique de maintenance corrective ne sera que pour réparer, et de quelle manière ? Il vaut mieux prévoir ces arrêts, surtout ceux qui sont d'ordre permanent ou périodique, pour ce faire, il faut établir une politique de maintenance préventive, en résumé, **prévoir vaut bien que de corriger**.

Un autre point très important, c'est la non-disponibilité des équipes de maintenance mécanique pendant la nuit, ce qui augmente les temps d'arrêts, et voir aussi l'efficacité des interventions entretenues.

Il est à signaler l'importance de prévoir des nettoyages périodiques de la station, pour améliorer l'accessibilité, aussi bien des équipes de maintenance que celles de contrôle.

Dans le cadre de la maintenance préventive, il faut prévoir un planning de contrôle journalier de tous les équipements de la station, ce contrôle sera inclut dans les arrêts procédés.

Les entretiens actuels de la station :

- Contrôle des fixations ;
- Contrôle des paliers des convoyeurs (graissage, cassures éventuelles...);
- Contrôle des niveaux d'huiles hydrauliques ;
- Contrôle des graissages ;
- Contrôle des rouleaux des convoyeurs de toute l'installation ;
- Contrôle des jonctions des bandes transporteuses ;
- Niveau d'huile des réducteurs ;
- Contrôle des barrettes, des couplages, des sondes de niveau, des accouplements et de tous les organes de sécurité présent dans la station.

IV. Le circuit d'échantillonnage :

Il constitue une étape fondamentale dans le processus de formation des tas de pré-homogénéisation, son rôle essentiel est de s'assurer de la composition des matières issues du circuit de concassage, ce circuit consiste, en une succession d'échantillonneurs (primaire, secondaire & tertiaire) et de broyeurs à cylindres, à donner des échantillons représentatifs, et ceci à chaque passage d'une étape du cadencement prévu. De cette manière le service laboratoire possède des données complètes sur l'état de la composition du concassé, et peut par suite, prévoir les actions futures en vue d'un lissage des caractéristiques. Tout est entrepris dans un objectif unique : **la qualité**.

Ce circuit contribue de 12 % dans les arrêts relatifs à la pré-homogénéisation, cependant, la majorité de ces arrêts sont les conséquences des travaux de bourrage sur les échantillonneurs et les alimentateurs. D'autres sont causés par des coincements des broyeurs, des changements des roulements ou des travaux électriques.

Bien que ce circuit soit efficace, vu la qualité des produits, le vieillissement de la majorité de ses éléments est à tenir en compte, aussi bien que le principe même des échantillonneurs.

V. Le manège :

Il constitue la dernière étape avant la formation du tas ; Deux transporteurs à mouvements discontinus, assurent l'acheminement de la matière avec des pas de 80 cm, et grâce à leur rotation commandée par le manège, on a formation de cordons semi-circulaires de matière. De cette manière, on dépose les matières par couches successives, ces dépôts seront repris ensuite par un gratteur alimentant le **SCRAPER**, en fin, les matières pré-homogénéisées finiront dans les broyeurs Cru.

Les arrêts liés à cet élément du circuit ont une part importante dans le total des arrêts, pour une moyenne de 19 %, le manège est un élément à tenir en compte dans toute étude.

Nous allons classer les arrêts selon deux catégories :

- Arrêts électriques :

- ☉ Coincement des chariots ;
- ☉ Coupure des câbles électriques de commande ;
- ☉ Défaillance des fins de course des vérins ;
- ☉ Défaillance du compteur ;
- ☉ Défaut sur Automate ...

➤ Arrêts mécaniques :

- ☉ Déportement des bandes T1 & T2 du manège ;
- ☉ Fuite des matières dans la jetée ;
- ☉ Changement des roulements ;

➤ Arrêts généraux :

Pour ce circuit, il faut noter la rapidité des interventions, et leur efficacité, le temps de réponse des équipes de maintenance est très déterminant pour limiter les retards liés au circuit. Un paramètre aussi important, c'est l'accessibilité et la facilité d'intervenir ; la présence des poussières est nuisante pour la réussite des réparations, pour cela, on propose de remettre en marche le système de dépoussiérage mis sur place.

Il y a toujours un problème de vieillissement des équipements, la chose à mettre en évidence et d'urgence par les services de maintenance.

VI. Les arrêts procédés :

Ces arrêts constituent, avec une moyenne de 32 %, la plus grande partie, ils seront le sujet d'une réglementation et d'une planification pour toutes les périodes de travail. Il faut bien en discuter avec le personnel concerné, pour la collecte de tous les paramètres indispensables pour une telle réglementation.

VII. Un petit mot pour finir :

Si on arrive à maîtriser les causes des arrêts liés à l'ensemble des éléments cités plus haut, on va diminuer les temps d'arrêts d'environ 40 %, c'est-à-dire que le temps d'arrêt total sera limité à environ 11h 50min (en valeur moyenne), certes la réalité n'est pas toujours souriante, mais il vaut mieux d'y parvenir par tous les moyens.

A ce stade, on va pouvoir former des tas de pré-homogénéisation dans les délais requis (48 heures).

N° TAS	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	Moyenne des %	Moyenne des temps d'arrêt en (minute)	% par rapport au temps moyen d'arrêt [19H46]
	% de contribution de chaque type d'arrêt, dans le temps d'arrêt total (pour chaque tas formé)															
Types d'arrêts																
<i>Echantillonage</i>	30	8	22	***	4	2	15	10	18	7	8	14	7	11,15	141	12
Arrêts procédés	22	52	30	45	54	10	25	35	32	48	26	37	24	33,84	374	32
Manège	6	18	9	18	8	69	5	3	25	1	40	16	8	17,38	231	19
Changement de couloir	5	14	8	7	12	5	5	12	7	13	8	11	8	8,84	103	9
Manque de matière	1	6	***	***	6	2	8	13	10	16	9	4	14	7,15	76	6
Bourrage du primaire & passage des cendres	5	2	10	1	10	4	3	6	6	12	4	3	11	5,92	64	5
Retards causés par les tirs à la carrière	***	***	***	3	2	***	***	3	2	***	***	***	***	0,77	7	0,5
brise-Roche en panne	***	***	***	***	***	***	2	***	***	***	4	15	***	1,61	20	2
Gasoil-engins	***	***	***	***	2	2	***	***	***	3	***	***	***	0,54	6	0,5
Divers	31	***	21	26	2	6	37	18	***	***	1	***	28	13,08	165	14
d'ordre mécanique	27	***	21	17	***	4	24	18	***	***	1	***	13	9,61	120	10
d'ordre électrique	4	***	***	9	2	2	13	***	***	***	***	***	15	3,46	45	4

Pourcentages de contribution des différents types d'arrêt.

Ce tableau illustre les différents résultats de calculs, qui ont permis l'évaluation des pourcentages de contribution des différents éléments de notre étude.

Conclusion

Vu l'hétérogénéité des carrières, la pré-homogénéisation constitue une étape, à la fois primordiale et délicate, dans le processus de fabrication du ciment, elle conditionne l'état des matières premières et leur confère une composition aussi régulière que possible.

D'après l'étude menée pendant la période du stage, la formation des tas de pré-homogénéisation subit d'énormes retards ; Les causes sont de nature très diverse, l'étude de leurs grands axes, présentée précédemment, a permis de donner une vue globale des différents arrêts avec une analyse plus ou moins poussée.

La majorité des problèmes, causant les retards, nécessite une étude approfondie, telle est l'exploitation de la carrière, avec tout ce qui est chargement, plan d'exploitation, engins et même la qualité des tirs, voir aussi les circuits de concassage, d'échantillonnage et le manège.

Pour le circuit de concassage, et malgré tous ses problèmes qui restent à régler, on arrive à assurer des débits satisfaisants, avec une moyenne de 500 T/h, la chose qui permettra, à condition de la bonne marche des autres éléments du circuit, la formation des tas de 20000 tonnes dans l'espace des 40 heures, ce qui répond très bien aux besoins de la fabrication, et par suite l'amélioration de la production journalière de clinker.